
DIPLOMARBEIT

Herr Ing.
Andreas Scherngell

Optimierung und Neukonstruktion einer Bearbeitungsstation für Rolltreppenstufen

Mittweida, 2011

DIPLOMARBEIT

Optimierung und Neukonstruktion einer Bearbeitungsstation für Rolltreppenstufen

Autor:

Herr Ing.

Andreas Scherngell

Studiengang:

Mechatronik

Seminargruppe:

KM09wMGA

Erstprüfer:

Prof. Dr.-Ing. Uwe Mahn

Zweitprüfer:

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Reglich

Einreichung:

Mittweida, 16.05.2011

Verteidigung/Bewertung:

Bibliografische Beschreibung:

Scherngell, Andreas:

Optimierung und Neukonstruktion einer Bearbeitungsstation für

Rolltreppenstufen - 2011 - 76, VI S.

Mittweida, Hochschule Mittweida, Fakultät Maschinenbau, Diplomarbeit, 2011

Referat:

Ziel der Diplomarbeit ist die technische Auslegung und Konstruktion einer Bearbeitungsstation für Rolltreppenstufen. Auf der Basis einer bereits bestehenden Anlage werden die auftretenden Mängel und Probleme erfasst und analysiert. Unter Berücksichtigung dieser Punkte und Einbindung div. Kundenwünsche wird eine neue optimierte Maschine konstruiert. Als Ergebnis soll ein Konzept dieser Bearbeitungsstation zur Verfügung stehen, welches die Bearbeitungskosten und Ablaufzeiten minimiert, dem Stand der Technik entspricht und die Anforderungen des Kunden erfüllt.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	VI
0 Einleitung.....	1
1 Beschreibung der bestehenden Bearbeitungsstation	3
1.1 Funktion	3
1.2 Probleme und Mängel	5
1.3 Taktzeitanalyse	10
2 Verbesserungskonzept für die neue Konstruktion	11
2.1 Neuer Arbeitsablauf.....	11
2.1.1 Zusätzliche Bearbeitung an der Stirnseite	13
2.2 Manipulation der Stufen.....	14
2.3 Ausrichtung und Positionierung	17
2.4 Spannen und Fixieren	20
3 Grundlegender Aufbau der neuen Bearbeitungsstation.....	27
3.1 Grundgestell mit Hubbalken	27
3.2 vordere Fräseinheit	35
3.2.1 Fräserauswahl.....	38
3.3 Feileinheit.....	40
3.4 seidl. Fräseinheit	43
3.5 Späneschutz und Beseitigung	46
3.6 Bedienerfreundlicher Typenumbau.....	50
3.7 Verschleiß- und Ersatzteile.....	56
4 Gesamtkonzept der neuen Anlage	60
4.1 Taktzeit	60

4.2	<i>Layout</i>	71
4.3	<i>Pneumatikplan</i>	73
Literaturverzeichnis		76

Selbstständigkeitserklärung

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 0-1: Treppenstufe	2
Abbildung 1-1: bestehende Bearbeitungsstation	3
Abbildung 1-2: bestehende Bearbeitungsstation Detail 1	4
Abbildung 1-3: bestehende Bearbeitungsstation Detail 2	4
Abbildung 1-4: Scheibenfräserpaket.....	4
Abbildung 1-5: Feilenpaket.....	4
Abbildung 1-6: Stahlauflegeleisten	5
Abbildung 1-7: Ausrichtung	6
Abbildung 1-8: Werkstücktoleranzen	7
Abbildung 1-9: Spannzyylinder.....	7
Abbildung 1-10: Detail Rillen	9
Abbildung 2-1: Bearbeitungen an der Treppenstufe	11
Abbildung 2-2: Bearbeitung der Stirnseite	13
Abbildung 2-3: Stufenmanipulation.....	14
Abbildung 2-4: Stufenausrichtung.....	17
Abbildung 2-5: Bearbeitungswege / Auflagen / Anschläge.....	18
Abbildung 2-6: Werkzeuganordnung	19
Abbildung 2-7: Rillenanordnung	20
Abbildung 2-8: Schnittkraft beim Fräsen der vorderen Rillen	22
Abbildung 2-9: Feilkontur.....	23
Abbildung 2-10: Stirnfräsen	24
Abbildung 2-11: Schnittkraft beim Stirnfräsen.....	25

Abbildung 3-1: Grundgestell mit Hubbalken	27
Abbildung 3-2: Führungsberechnung - Systemmaße.....	31
Abbildung 3-3: Berechnung des Grundgestellquerschnittes	33
Abbildung 3-4: vordere Fräseinheit.....	35
Abbildung 3-5: bestehender Scheibenfräser.....	38
Abbildung 3-6: neuer Scheibenfräser	39
Abbildung 3-7: Fräserverersatz	39
Abbildung 3-8: Feileinheit.....	40
Abbildung 3-9: Zeichnung einer Feile	42
Abbildung 3-10: seidl. Fräseinheit	43
Abbildung 3-11: Blechabdeckung bei den Ausrichtgreifern.....	46
Abbildung 3-12: Blechabdeckungen an der vorderen Fräseinheit.....	47
Abbildung 3-13: Abdeckung der Feilenzentriereinheit.....	47
Abbildung 3-14: Blechabdeckung an der Feileinheit.....	48
Abbildung 3-15: Abdeckung der Stirnfräser	48
Abbildung 3-16: Späneabfuhr	49
Abbildung 3-17: Umbau der Aufnahme- und Auflageteile	50
Abbildung 3-18: Anbaukonsolen für die Spannelemente	52
Abbildung 3-19: Umbau vordere Fräseinheit	53
Abbildung 3-20: Umbau Feileinheit.....	54
Abbildung 3-21: Umbau seidl. Fräseinheiten	55
Abbildung 3-22: Verschleißteile	56
Abbildung 4-1: Berechnung Pneumatikzylinderbewegung Bild 1	60

Abbildung 4-2: Berechnung Pneumatikzylinderbewegung Bild 2	61
Abbildung 4-3: Berechnung Pneumatikzylinderbewegung Bild 3	61
Abbildung 4-4: Ablauf Ausrichten und Spannen	62
Abbildung 4-5: Ablauf Bearbeitung Rillen an der Vorderseite	64
Abbildung 4-6: Ablauf Bearbeitung Rillen an der Unterseite	66
Abbildung 4-7: Ablauf Bearbeitung Stirnseiten	68
Abbildung 4-8: Gesamtlayout der Anlage	71
Abbildung 4-9: Pneumatikplan.....	73

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1-1: Festigkeitsvergleich	6
Tabelle 2-1: Variantenvergleich	15
Tabelle 2-2: Vergleich Feilenpakete	23
Tabelle 3-1: Führungsberechnung – Systemmaße und Betriebswinkel	30
Tabelle 3-2: Führungsberechnung - Massenschwerpunkte und Kraftangriffspunkte	31
Tabelle 3-3: Führungsberechnung – Gewählte Führung	32
Tabelle 3-4: Führungsberechnung – Belastungen auf die Führungen	32
Tabelle 4-1: Taktzeiten Ausrichten und Spannen	63
Tabelle 4-2: Taktzeiten Bearbeitung Rillen an der Vorderseite	65
Tabelle 4-3: Taktzeiten Bearbeitung Rillen an der Unterseite	67
Tabelle 4-4: Taktzeiten Bearbeitung Stirnseiten	69
Tabelle 4-5: Taktzeiten Entspannen	70
Tabelle 4-6: Taktzeitvergleich	70

0 Einleitung:

Ein Hersteller von Rolltreppenstufen verfügt in seiner Fertigungslinie über eine bestehende Bearbeitungsstation, welche div. Fräs- und Entgratvorgänge an den Stufen durchführt. Die Rolltreppenstufen aus Aluminium-Umschmelzlegierung AlSi (EN AB 44300) werden in dieser Fertigungslinie, vom Gießvorgang bis hin zum fertig nachbearbeiteten Endprodukt, hergestellt. Diese Fertigung läuft bis auf einzelne Entgratarbeiten und Manipulationen zum größten Teil vollautomatisch ab. Die gegossenen Treppenstufen werden zuerst abgekühlt und anschließend werden diverse Angüsse abgebrochen und Bohrungen ausgestanzt. Nach diesen Vorgängen werden die Stufen auf Stapeln abgelegt, manuell zu einer Fördereinrichtung transportiert und dort wiederum einzeln aufgelegt. Diese Fördereinrichtung transportiert die vereinzelter Stufen taktweise bis hin zu der angesprochenen Bearbeitungsstation. Dort werden die Stufen automatisch der Fördereinrichtung entnommen und durch die Bearbeitungsstation durchgeschleust.

In dieser Station werden die Rillen an der Vorderseite der Stufen nachgefräst und die Rillen an der Unterseite entgratet (gefeilt). Bei diesen Bearbeitungen kommt es durch einige Mängel, welche die Anlage aufweist, zu Toleranzabweichungen und Qualitätsproblemen. Auch die Taktzeit dieser Station ist im Gegensatz zu denen davor und danach um einige Sekunden höher. Diese Station soll nun im Zuge dieser Diplomarbeit überarbeitet und neu konstruiert werden, damit diese Bearbeitungsvorgänge genauer und schneller durchgeführt werden können.

Nach dem Durchschleusen durch diese Bearbeitungsstation entnimmt ein Roboter die Treppenstufen, führt mit ihnen an einer Feilstation noch weitere Entgratvorgänge durch und legt sie dann wieder auf der Fördereinrichtung ab. Danach werden sie auf dieser Fördereinrichtung bis zur nächsten Station transportiert. Dort werden sie wieder von einem Roboter entnommen und in eine weitere Bearbeitungsstation eingelegt, welche diverse Bohr- und Ausspindelarbeiten durchführt. Von dort geht die Manipulation dann wieder manuell zu weiteren Anlagen weiter, bis am Ende das fertige Endprodukt (Rolltreppenstufe) hergestellt ist.

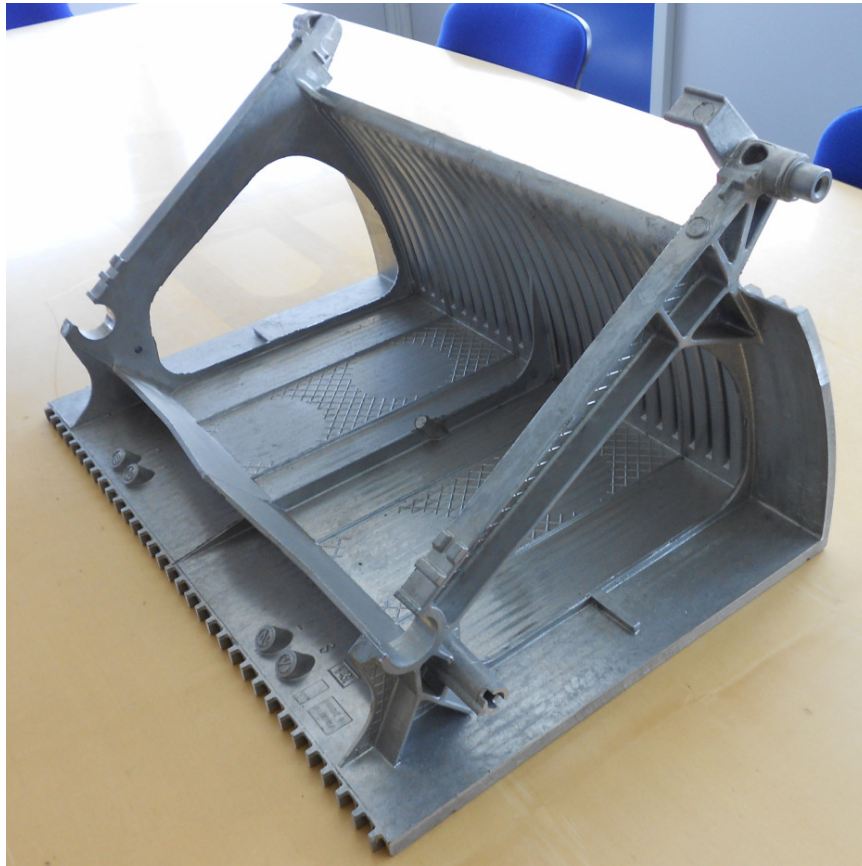


Abbildung 0-1: Treppenstufe

1 Beschreibung der bestehenden Bearbeitungsstation:

1.1 Funktion:

Die Rolltreppenstufen werden, auf einer Fördereinrichtung kommend, taktweise zur Bearbeitungsstation transportiert. Durch einen Pneumatikzylinder werden sie von der Fördereinrichtung in die Bearbeitungsstation geschoben. Während dieses Schiebevorgangs laufen die Treppenstufen mit der Unterseite (Sichtseite) auf Stahlleisten.

In der Bearbeitungsstation angekommen, werden die Stufen durch einen eingeklappten Anschlag (Abbildung 1-2) an der Stirnseite gestoppt, anschließend über einen Steg an der Unterseite zentriert und von einem Ausrichtzylinder nach hinten gegen eine weitere Anschlagfläche geschoben. Danach werden die Stufen von oben über Pneumatikzylinder gespannt und somit für den ersten Bearbeitungsvorgang fixiert. Die Bearbeitung selbst erfolgt in mehreren Schritten. Bei jedem Schritt werden jeweils die Rillen an der Vorderseite über einen Bereich von 200mm Länge nachgefräst und um 200mm versetzt die Rillen an der Unterseite über einen gleich langen Bereich entgratet (gefeilt). Da die Fräs- und Engrateinheit feststehend ist, werden die Stufen nach jedem abgeschlossenen Bearbeitungsvorgang von einer Versetzeinheit um jeweils 200mm weitergetaktet, neu ausgerichtet und gespannt. Dieser Vorgang wiederholt sich so oft wie es die Stufenlänge erfordert (bei 600mm – 3mal; bei 800mm - 4mal; und bei 1000mm – 5mal). Nach dem Durchschleusen durch die Fräs- und Entgrateinheit werden die Treppenstufen zur Weiterbehandlung von einem Roboter mit Zentriergreifer entnommen.

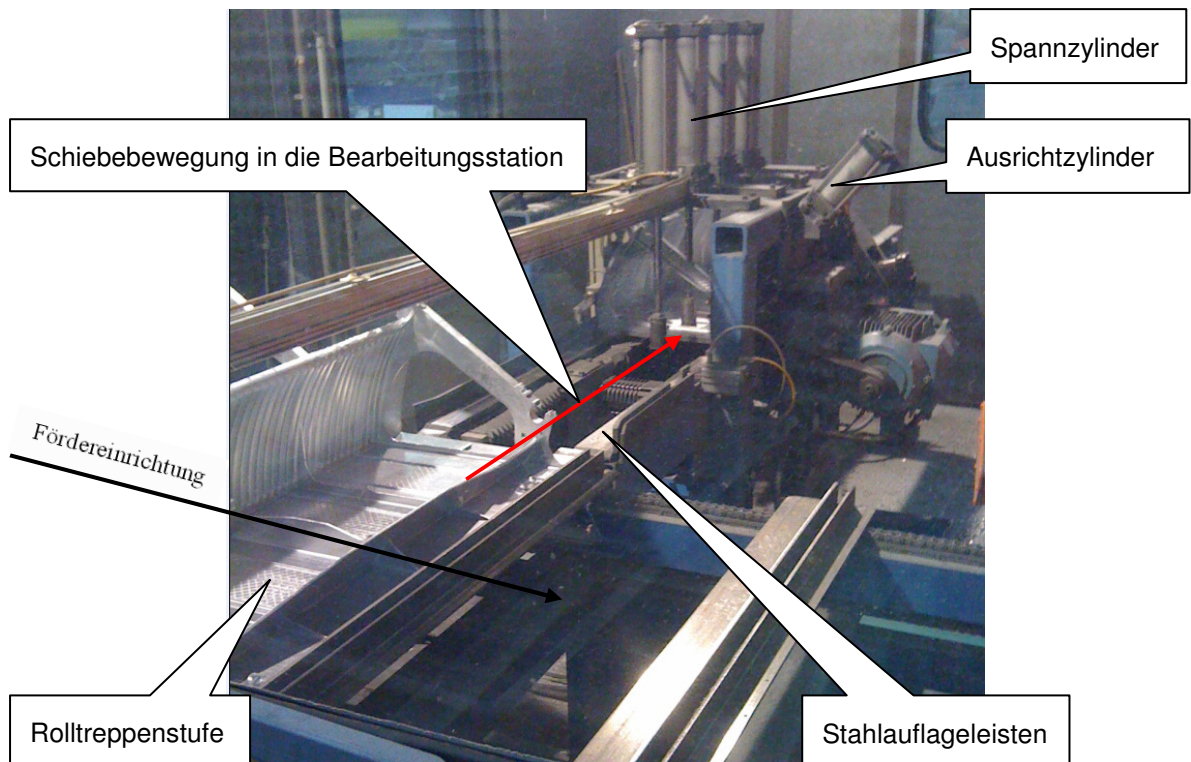


Abbildung 1-1: bestehende Bearbeitungsstation

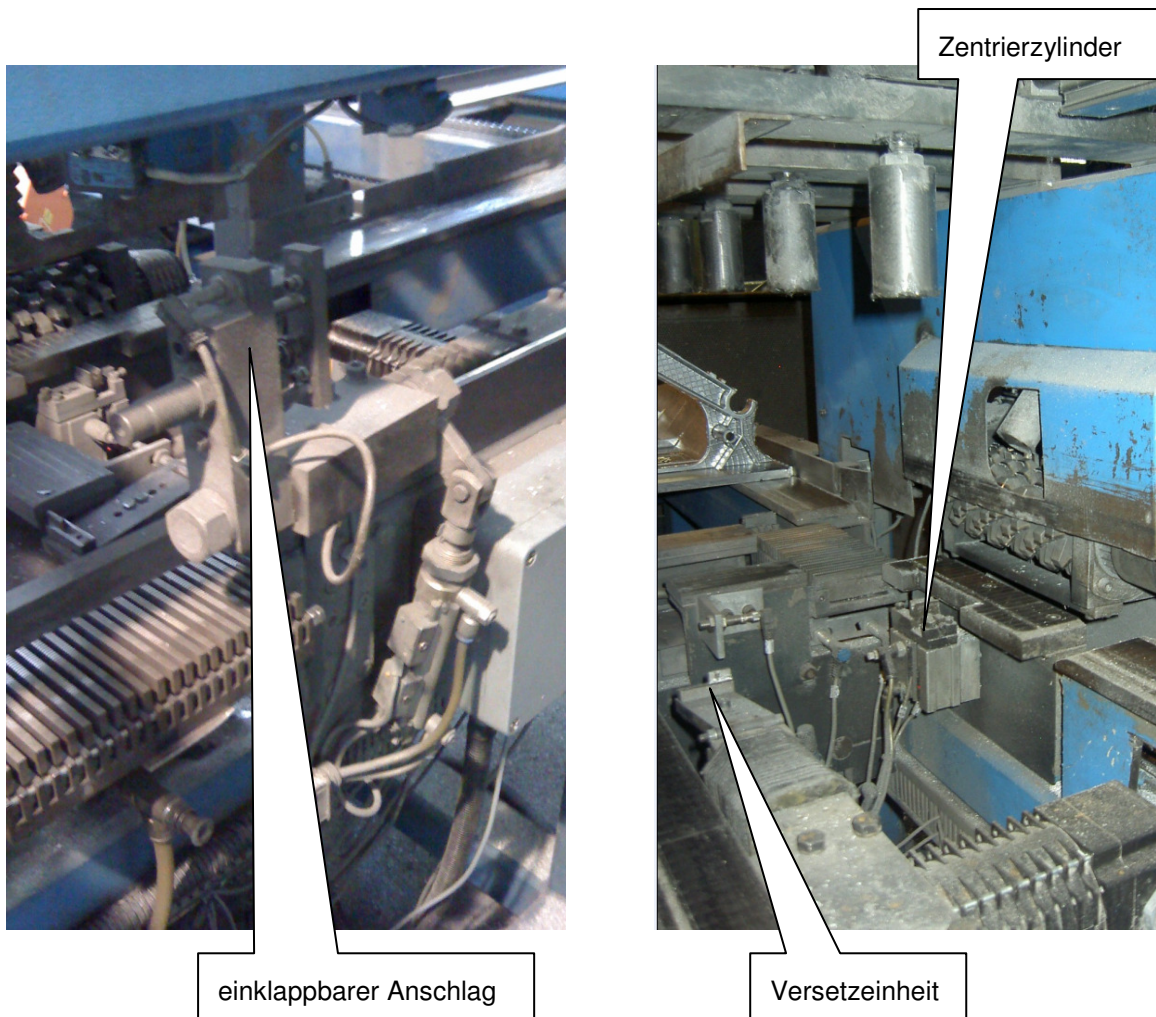


Abbildung 1-2: best. Bearbeitungsstation Detail 1 Abbildung 1-3: best. Bearbeitungsstation Detail 2

Der einklappbare Anschlag (Abbildung 1-2) wird nur fürs erstmalige Ausrichten der Stufen verwendet, für den weiteren Versatz um je 200mm dient die Versetzeinheit (Abbildung 1-3).

Das Nachfräsen der Verzahnung erfolgt über Scheibenfräserpakete (Abbildung 1-4) und das Entgraten der Rillen an der Stufenunterseite über spezielle Feileinsätze (Abbildung 1-5).



Abbildung 1-4: Scheibenfräserpaket



Abbildung 1-5: Feilenpaket

1.2 Probleme und Mängel:

Die zuvor beschriebene bestehende Bearbeitungseinheit weist im Betrieb einige Probleme und Mängel auf. Diese Punkte werden nachfolgend aufgelistet und beschrieben. Für die Konstruktion und Auslegung der neuen Anlage soll die Vermeidung, bzw. Verbesserung dieser Punkte als grundlegende Anforderung dienen.

a) Qualitätsprobleme durch Beschädigung der Trittfläche (Sichtfläche) bei der Manipulation der Stufen:

Das Schieben der Rolltreppenstufen von der Fördereinrichtung zur Bearbeitungsstation, bzw. das Weitertakten durch die Station, führt zu Oberflächenbeschädigungen an den Treppenstufen. Dadurch dass die Stufen mit den Trittflächen (Sichtflächen) auf herkömmlichen Stahlauflegeleisten (Abbildung 1-6) liegend über weite Strecken geschoben werden, kann es vorkommen, dass sich an der Stufenunterseite Kratzer u. Beschädigungen bilden. Diese Oberflächenbeschädigungen führen zu großen optischen Mängeln, weil es sich bei der Unterseite um die Sichtseite der Treppenstufen handelt.

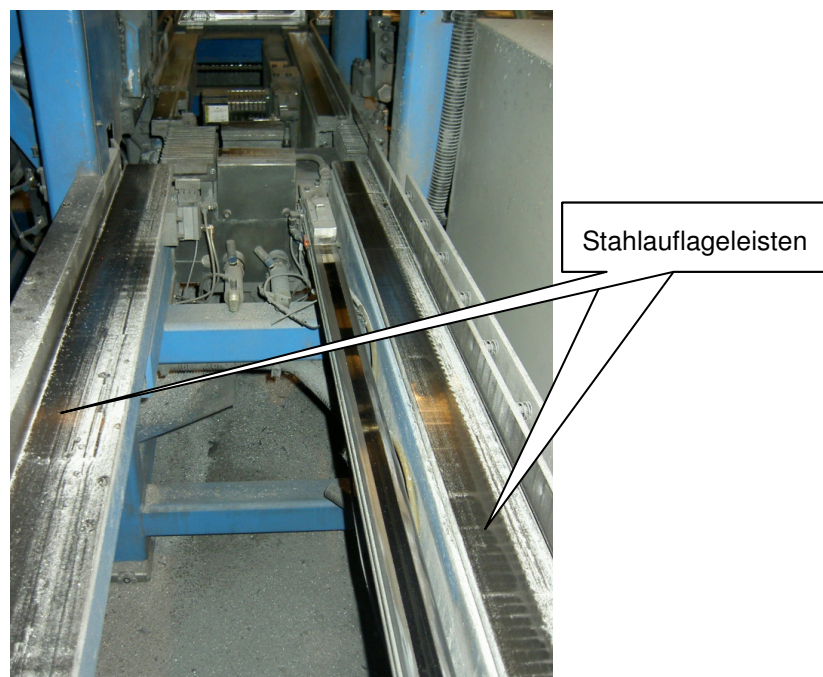


Abbildung 1-6: Stahlauflegeleisten

Bei dem Stufenwerkstoff handelt es sich um Aluminium-Umschmelzlegierung AlSi (EN AB 44300) und die Auflageleisten sind aus herkömmlichen Baustahl (S235JR). Deshalb kommt es durch die unterschiedlichen mech. Eigenschaften der beiden Materialien zu Abriebserscheinungen an der Aluminiumoberfläche. Weiters bleiben durch die Bearbeitung Späne auf diesen Auflageleisten liegen und das Schieben der Stufen über diese Späne zerkratzt die Stufenunterseite.

Vergleich der Festigkeitswerte von S235JR und EN AB 44300: (lt. RM Tab. 1-1 und Herstellerangaben)

	Zugfestigkeit R _m [MPa] min.	Dehngrenze R _{p0,2} [MPa] min.	Härte nach Brinell HB
S235JR	360	235	102-140
EN AB 44300	240	130	60

Tabelle 1-1: Festigkeitsvergleich

b) Ungenaue Ausrichtung und Positionierung der Stufen:

Durch die ungünstig gewählten Anschlag- und Ausrichtungspunkte kommt es bei den Bearbeitungsvorgängen zu Abweichungen gegenüber den geforderten Werkstücktoleranzen.

Das Werkstück wird an einem Steg an der Unterseite, im Bereich des Bearbeitungsvorganges, zentriert und an der Rückseite gegen eine Anschlagfläche gedrückt. Das Werkstück wird für jeden Bearbeitungsschritt (Bearbeitungsbreite 200mm) wieder neu zentriert und gespannt. Deshalb erhält man für jeden Bearbeitungsschritt einen anderen Steg zur Ausrichtung. Die Werkstücke sind lt. Kundenangaben aber an der Rückseite nicht exakt gerade, sondern weisen über die gesamte Länge gesehen einen leichten Radius auf. Somit ergibt sich über dieses stufenweise Ausrichten und die anschließende Bearbeitung an der Vorderseite auch keine exakte Parallelität der nachgefrästen Teilbereiche der vorderen Rillen. (Abbildung 1-7) Die durch diese wiederholten Ausrichtungen auftretenden Maßabweichungen sind so hoch, dass einige dieser gefrästen Rillen außerhalb des vorgeschriebenen Toleranzfeldes liegen.

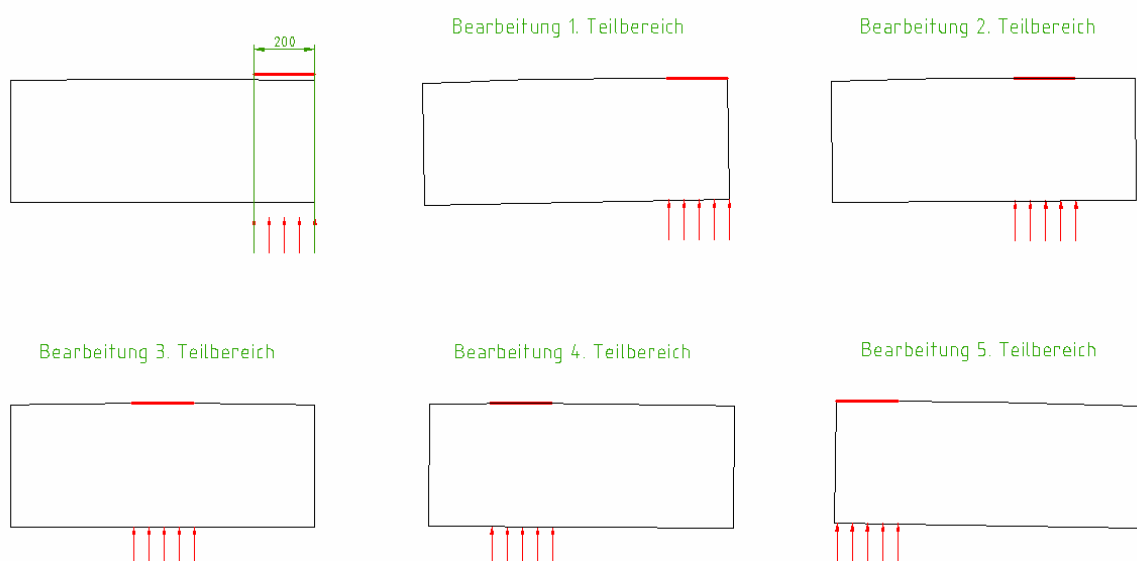


Abbildung 1-7: Ausrichtung

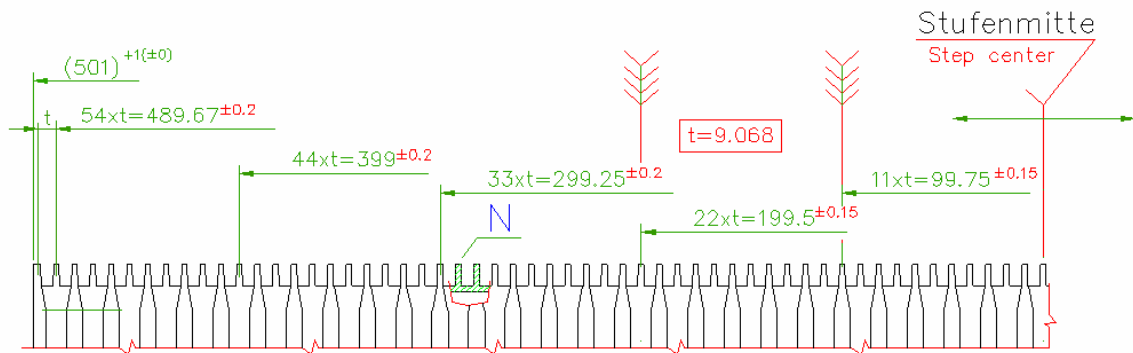


Abbildung 1-8: Werkstücktoleranzen

Bei den in den Werkstückzeichnungen angegebenen Toleranzen spielt, neben den Maßtoleranzen für die einzelnen Rillen und den Rillenabständen, auch die Gesamtlänge eine Rolle. Weil die Werkstücke mit unterschiedlichen Längen und Graten in die Station kommen, ist es auch notwendig die beiden Stirnseiten nachzubearbeiten (entgraten).

Diese Bearbeitung wird bisher im Anschluss an die Bearbeitungsstation durch den Roboter an einer Feileinheit durchgeführt. Dabei werden die Stufen zwar sehr gut entgratet, jedoch können die auftretenden Längenunterschiede (Überlängen) mit der Feileinheit nicht korrigiert werden, sodass einige Werkstücke bezüglich der Gesamtlänge aus dem Toleranzrahmen fallen.

c) Unzureichendes Spannen und Fixieren der Stufen für die Bearbeitungsvorgänge:

Die Rolltreppenstufen werden in der Bearbeitungsstation durch die Rillen mittig zentriert, über einen Pneumatikzylinder gegen die hintere Anschlagfläche gedrückt und über vier Pneumatikzylinder von oben gegen die Auflageleisten gespannt. Es kommen aber bei den ersten und letzten Bearbeitungsschritten nicht alle vier Spannzyylinder (Abbildung 1-9) zum Eingriff. Dadurch dass die Stufen schrittweise durch die Anlage durchgetaktet werden, treffen zum Beispiel beim Bearbeiten des ersten Bereiches (am Anfang der Stufe) nur zwei der vier Zylinder auf die Stufe auf.

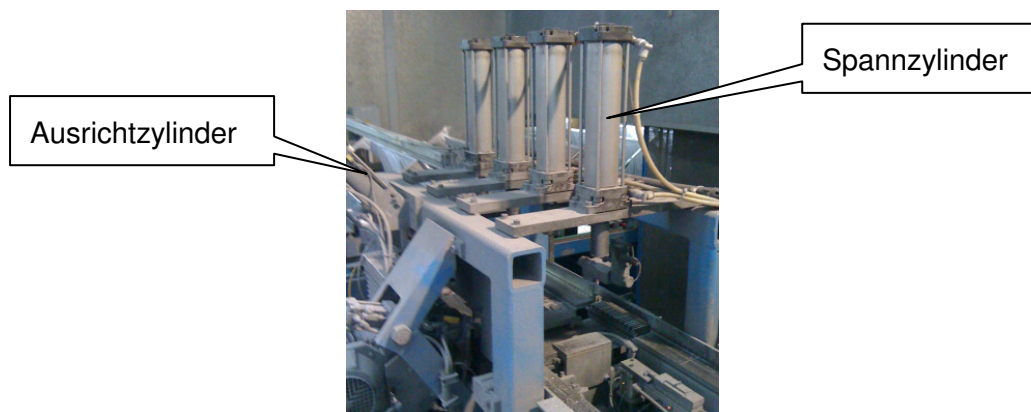


Abbildung 1-9: Spannzyylinder

Während des Bearbeitungsvorganges, insbesondere beim Nachfräsen der vorderen Rillen, kommt es zu starken Vibrationen und einem leichten Verrutschen der Treppenstufen, da die Spannzylinder die auftretenden Kräfte nicht halten können. Besonders im ungünstigsten Fall am Anfang und am Ende der Stufe (nur zwei Spannzylinder) ist dies deutlich merkbar.

In diesem Fall sieht die Spannsituation wie folgt aus:

Ein Ausrichtzylinder schräg nach hinten: Pneumatikzylinder SMC C92SDB50-100 mit 1178N bei 6 bar Betriebsdruck (Bei einem Angriffswinkel von ca. 45° ergeben sich dadurch jeweils 833N als senkrechte und waagrechte Kraftkomponente)

Zwei Spannzylinder von oben: Pneumatikzylinder SMC C92SDB63-250 mit je 1870N bei 6 bar Betriebsdruck

Alle Zylinder spannen das Werkstück gegen Anschlagflächen aus herkömmlichem Baustahl (S235JR), für welchen man in Kombination mit dem Stufenmaterial (EN AB 44300) einen Reibfaktor von ca. 0,6 annehmen kann.

Damit ergeben sich rechnerisch folgende Kräfte:

-) Spannkraft gegen das Verschieben nach vorne (in Rillenrichtung):

Ges. Spannkraft von oben = $2 \times 1870\text{N} + 1 \times 833\text{N} = 4573\text{N}$

Ges. Spannkraft nach hinten gegen den Anschlag = 833N

Notwendige Kraft zum Verrutschen der Treppenstufe = $4573\text{N} \times \text{Reibfaktor } 0,6 + 833\text{N} = 2743,8\text{N} + 833\text{N} = \underline{3576,8\text{N}}$

Es wird eine Kraft von ca. 3577N benötigt um die Treppenstufe nach vorne zu Verschieben.

-) Spannkraft gegen das Abheben der Treppenstufe (von den Auflagen):

Ges. Spannkraft von oben = $2 \times 1870\text{N} + 1 \times 833\text{N} = 4573\text{N}$

Ges. Spannkraft nach hinten gegen den Anschlag = 833N

Notwendige Kraft zum Heben der Treppenstufe = $4573\text{N} + 833\text{N} \times \text{Reibfaktor } 0,6 = 4573\text{N} + 499,8\text{N} = \underline{5072,8\text{N}}$

Es wird eine Kraft von ca. 5073N benötigt damit sich die Treppenstufe nach oben gegen die Spannzylinder bewegt.

-) Spannkraft gegen das seitliche Verschieben :

Ein seitliches Verschieben kann ausgeschlossen werden, da die Stufe zusätzlich zu den Spannzylindern noch über die Rillen an der Unterseite fix eingehalten wird.

Diese Kräfte müssten aufgebracht werden um die Stufen zu bewegen. Wie man in Betrieb der Anlage erkennen kann, ist die Kraft welche beim Rillenfräsen auftritt höher. Durch das daraus resultierende Vibrieren bzw. Verrutschen ist es unmöglich die geforderten Toleranzen der Fräsungen einzuhalten.

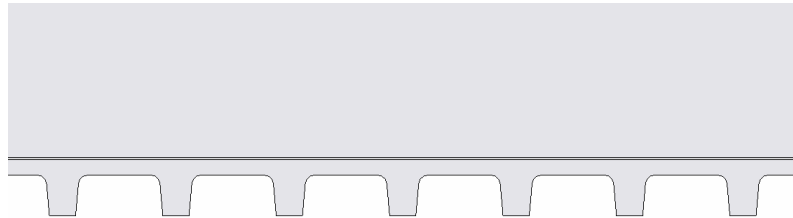


Abbildung 1-10: Detail Rillen

Durch Prüfmaße nach den Bearbeitungen musste man erkennen, dass es sich bei den Abweichungen sogar um einige Zehntel Millimeter handelt.

d) Zu hohe Taktzeit der Anlage:

Die gesamte Taktzeit dieser Station ist im Vergleich zu anderen nachfolgenden Stationen der Fertigungslinie zu hoch, und verhindert somit eine fließende Fertigung. Durch die ungünstige Einbringung in die Station und das mehrmalige Ausrichten / Spannen / Entspannen verliert man sehr viel Zeit. Für den Roboter, welcher die Stufen am Ende der Bearbeitung entnimmt und an diesen anschließend auch noch div. Engratvorgänge durchführt, ergeben sich sogar ein paar Sekunden Stehzeit. Auch die gesamte Auslegung der Pneumatikzylinderbewegungen ist nicht optimal abgestimmt.

Diese gesamte Bearbeitungszeit sollte um einige Sekunden verbessert, und zusätzlich ein weiterer Bearbeitungsschritt in diese Station miteingebunden, werden. (siehe Abschnitt. 2.1.1) Damit könnte man auch zusätzliche Roboterzeit sparen.

Im nachfolgenden Abschnitt wird die benötigte Taktzeit der bestehenden Station im Detail analysiert, um diese dann später mit dem neuen Konzept zu vergleichen.

1.3 Taktzeitanalyse:

An der bestehenden Anlage wurden im Betrieb, am Beispiel einer Treppenstufe mit der Länge von 1000mm, folgende Zeiten ermittelt:

- Einbringen in die Bearbeitungsstation + 1x Ausrichten und Spannen ----	ca. 7,0 sec
- 1. Teilstück (0-200mm) fräsen -----	ca. 12,0 sec
- Entspannen, Werkstück nachsetzen, erneut Ausrichten und Spannen---	ca. 6,5 sec
- 2. Teilstück (200-400mm) fräsen / 1. Teilstück (0-200mm) feilen -----	ca. 12,0 sec
- Entspannen, Werkstück nachsetzen, erneut Ausrichten und Spannen---	ca. 6,5 sec
- 3. Teilstück (400-600mm) fräsen / 2. Teilstück (200-400mm) feilen -----	ca. 12,0 sec
- Entspannen, Werkstück nachsetzen, erneut Ausrichten und Spannen---	ca. 6,5 sec
- 4. Teilstück (600-800mm) fräsen / 3. Teilstück (400-600mm) feilen -----	ca. 12,0 sec
- Entspannen, Werkstück nachsetzen, erneut Ausrichten und Spannen---	ca. 6,5 sec
- 5. Teilstück (800-1000mm) fräsen / 4. Teilstück (600-800mm) feilen ---	ca. 12,0 sec
- Entspannen, Werkstück nachsetzen, erneut Ausrichten und Spannen---	ca. 6,5 sec
- 5. Teilstück (800-1000mm) feilen -----	ca. 2,0 sec
- Entspannen, Stufe ausbringen -----	ca. 5,0 sec
<hr/>	
<u>ca. 106,5 sec</u>	

Das ergibt eine Gesamttaktzeit in dieser Station von ca. 106,5 Sekunden. Das Einbringen inkl. dem erstmaligen Ausrichten und Spannen dauert ca. 7 Sekunden, die Bearbeitungsschritte inkl. den weiteren Ausricht- und Spannvorgängen ca. 94,5 Sekunden, und das Entspannen und Ausbringen der Stufen ca. 5 Sekunden.

Vor allem der Bearbeitungsvorgang mit ca. 94,5 Sekunden enthält Optimierungspotenzial und soll an der neuen Anlage deutlich verkürzt werden.

Die Roboterzeit des nachfolgenden Roboters, welcher die Treppenstufen aus der Station entnimmt und div. Entgratvorgänge durchführt, wurde mit ca. 104 Sekunden gemessen. Die Roboterzeit beinhaltet das Aufnehmen des Werkstückes, die weiteren Entgratvorgänge, das Ablegen für die nächste Station und das Verfahren zum Aufnehmen eines neuen Teils. Zu den Entgratvorgängen, welche vom Roboter durchgeführt werden, zählt auch die stirnseitige Bearbeitung der Treppenstufen. Dieser Bearbeitungsschritt soll in der neuen Anlage zusätzlich in die Bearbeitungsstation eingebunden werden, und wurde mit ca. 14 Sekunden pro Seite gemessen. Abzüglich dieser Bearbeitung würde sich somit eine Roboterzeit von nur mehr ca. 76 Sekunden ergeben.

Das Ziel der neuen Bearbeitungsstation sollte sein, diese Roboterzeit zu unterbieten, bzw. mindestens zu erreichen.

2 Verbesserungskonzept für die neue Konstruktion:

2.1 neuer Arbeitsablauf:

Die auf der Fördereinrichtung liegenden Rolltreppenstufen werden nicht mehr in die Bearbeitungsstation geschoben, sondern durch den Roboter mit Zentriergreifer von der Fördereinrichtung entnommen und lagegerecht in die neue Bearbeitungsstation eingelegt. Der Roboter ist ein ABB-Industrieroboter Typ IRB 4400 mit einer Positionswiederholgenauigkeit von $\pm 0,2\text{mm}$. Während sich die Treppenstufe in der Station befindet, führt aufgrund des neuen Aufstellungskonzeptes der Roboter bereits mit dem nächsten Werkstück div. Engratvorgänge durch, welche bisher im Anschluss an die Bearbeitungsstation durchgeführt wurden.

Die verschiedenen Werkstücktypen (Längen von 600, 800 und 1000mm) werden jeweils zentrisch in die Anlage eingelegt, sodass die Werkstückmitte immer in der Mitte der Anlage liegt. Die für einen Typenumbau notwendigen Verstellungen an der Anlage werden jeweils gleichmäßig auf beiden Seiten zur Mitte hin getätigt. Nachdem die Treppenstufen nun bereits lagegerecht und mit einem Abstand von $5 \pm 0,2\text{mm}$ zum hinteren Anschlag vom Roboter eingelegt wurden, werden sie mittels Pneumatikzylinder exakt zentrisch und gegen die Anschlagfläche auf der Hinterseite ausgerichtet, und anschließend ebenfalls über Pneumatikzylinder gespannt. Nun beginnt der Bearbeitungsvorgang, welcher sich in drei verschiedene Bearbeitungen aufteilt:

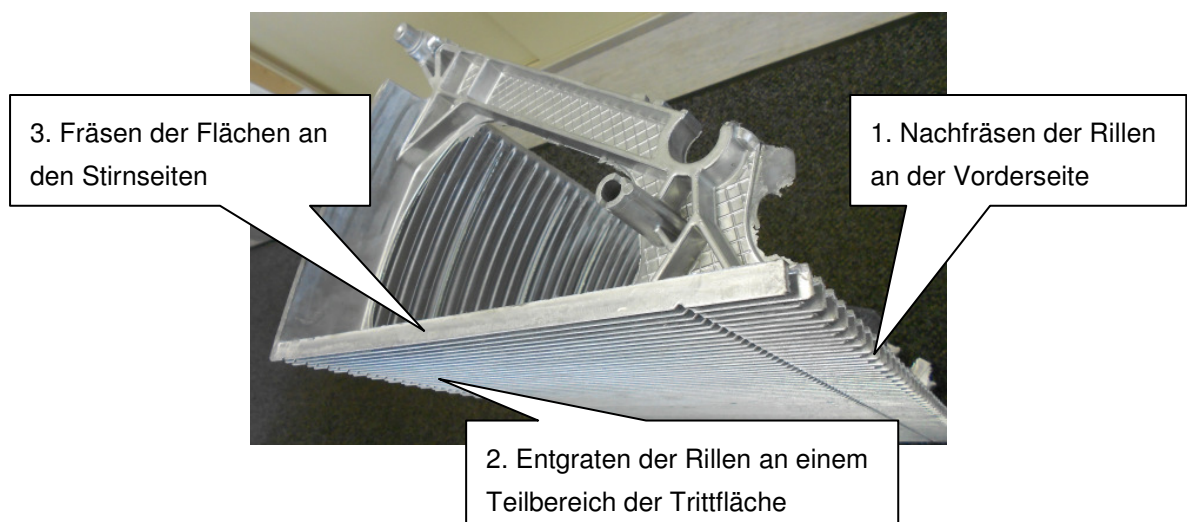


Abbildung 2-1: Bearbeitungen an der Treppenstufe

Als erstes werden die Verzahnungen (Rillen) an der Vorderseite der Treppenstufe nachgefräst. Dies erfolgt über zwei gleichzeitig arbeitende Fräseinheiten, welche über 250mm breite Scheibenfräserpakete verfügen. Die Fräserpakete werden jeweils über einen Drehstrommotor angetrieben, und die Vorschubbewegungen beim Fräsvorgang werden über Pneumatikzylinder verwirklicht.

Das Werkstück bleibt während der kompletten Bearbeitung exakt gespannt, und die Versetzbewegung für den nächsten Fräsbereich erfolgt über Pneumatikzylinder mit den Fräseinheiten. Durch die zwei Fräseinheiten mit einer Bearbeitungsbreite von je 250mm erreicht man die komplette Bearbeitungslänge von max. 1000mm mit einem einzigen Versetzvorgang. Dadurch erhält man bezüglich der Bearbeitungszeit schon einen erheblichen Vorteil gegenüber der alten Anlage, bei welcher das Werkstück bei der Bearbeitung durch die Anlage durchgetaktet wurde.

Nachdem diese Bearbeitung abgeschlossen ist, oder bei Bedarf gleichzeitig mit dem ersten Bearbeitungsschritt, werden die Rillen an der Unterseite entgratet. Dieser Engratvorgang erfolgt mittels speziellen Feileinsätzen, welche auch in der bestehenden Bearbeitungsstation schon in Verwendung sind und dort problemlos funktionieren. Das Entgraten dieser Rillen ist lt. Kundenangaben nur an einem bestimmten Bereich der Trittfläche (Stufenunterseite) notwendig. Dieser Bereich betrifft, ausgehend von der hinteren Anschlagseite, nur die ersten 40mm der Rillen, die restliche Rillenfläche wird nicht entgratet. Auch diese Feileinsätze werden, gleich wie die Scheibenfräser beim Bearbeiten der vorderen Rillen, zu zwei einzelnen, 250mm breiten Paketen zusammengefasst. Dadurch kann auch hier die komplette Stufe mit einem einmaligen Versetzen der Feileinheiten bearbeitet werden.

Wie bereits erwähnt besteht, falls es die Taktzeit erfordert, die Möglichkeit die Bearbeitungen und Versetzbewegungen vom Fräsen der vorderen Rillen und dem Feilen der Stufenunterseite gleichzeitig ablaufen zu lassen. Somit könnte man zusätzlich noch die gesamte Zeit des Engratens der Rillenunterseite einsparen.

Als drittes erfolgt noch die Bearbeitung der Stirnseiten der Treppenstufen. Dieser Vorgang wurde bisher nicht in dieser Bearbeitungsstation durchgeführt und wird im nachfolgenden Abschnitt. 2.1.1 gesondert beschrieben.

Nachdem auch der dritte Bearbeitungsschritt abgeschlossen wurde, wird die Treppenstufe wieder entspannt und von einem weiteren Roboter mit Zentriergreifer aus der Station entnommen. Dieser gibt die Treppenstufe an die nächste Station weiter, und parallel legt der andere Roboter wiederum ein neues Teil ein.

2.1.1 Zusätzliche Bearbeitung an der Stirnseite:

Dieser Vorgang wird, wie bereits erwähnt, bisher im Anschluss an die Bearbeitungsstation durch den Industrieroboter durchgeführt. Der Roboter bringt die Treppenstufe nach dem Entnehmen aus der Anlage zu einer Feilstation. Diese Feilstation verfügt über eine frei noch oben stehende vibrierende Flachfeile, an welcher der Roboter die Werkstücke konturgerecht vorbeibewegt, und somit die stirnseitigen Flächen entgratet.

Zum Verringern der Taktzeit des Roboters soll diese Bearbeitung zusätzlich in der neuen Bearbeitungsstation erfolgen. Wie man nachfolgend in der neuen Taktzeitanalyse (Abschnitt 4.1) sehen kann, hat sich die Durchlaufzeit der neuen Bearbeitungsstation wesentlich verkürzt, sodass der Roboter für seine weiteren Aufgaben, wozu auch die angesprochene stirnseitige Bearbeitung zählt, länger brauchen würde als die neue Station. Deshalb ist es für die gesamte Taktzeit der Fertigungslinie sehr wichtig diesen Vorgang hier miteinzubinden.

Die Bearbeitung beinhaltet das Entgraten der Stirnseiten durch Fräseinheiten mit Stirnfräsern. Diese Fräseinheiten werden über Pneumatikzylinder auf versetzbare Endanschläge (aufgrund der drei verschiedenen Werkstücklängen) herangefahren, und fahren durch zwei lineare Vorschubbewegungen die annähernd lineare Kontur der Stirnseite ab. (Abbildung 2-2)

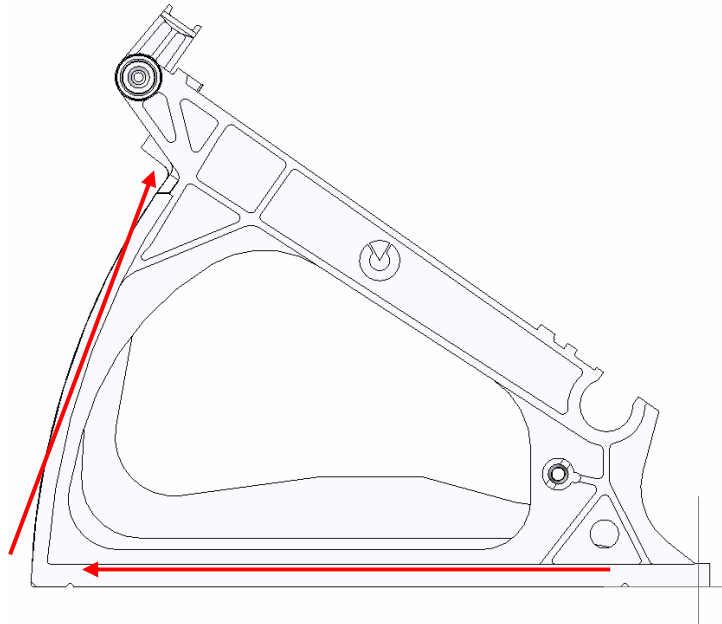


Abbildung 2-2: Bearbeitung der Stirnseite

Dadurch ergeben sich genau auf Maß nachgefräste und sauber entgratete Endbereiche der Treppenstufe.

2.2 Manipulation der Stufen:

Wie bereits in Abschnitt 1.2 erwähnt kommt es bei den Treppenstufen durch die Manipulation an der Trittfläche (Stufenunterseite) zu optischen Qualitätsmängeln. Es stellt sich nun die Aufgabenstellung die Stufen an den wichtigen Berührungsflächen schonender zu behandeln, um mögliche Oberflächenbeschädigungen zu vermeiden.

In erster Linie wird nun die Möglichkeit in Anspruch genommen die Stufen nicht mehr an der Unterseite schleifend in die Station zu schieben, sondern diese durch einen Industrieroboter einzulegen. Der angesprochene Industrieroboter steht für diese Anlage zur Verfügung, da dieser bereits auch bisher das fertig bearbeitete Teil aus der Station entnimmt. Seine Reichweite geht problemlos bis hin zur Fördereinrichtung, an welcher die Treppenstufen transportiert werden. Die Fördereinrichtung arbeitet im Taktbetrieb und dadurch ist es dem Roboter problemlos möglich die Bauteile zu entnehmen. Auch der bereits auf dem Roboter montierte Zentriergreifer bietet sich ideal an, um die Stufen, ohne diese zu beschädigen, von der Fördereinrichtung zur Bearbeitungsstation zu transportieren.

In die Bearbeitungsstation eingelegt, werden die Stufen mit dem mittleren Steg in zwei V-förmigen Zentrierrollen abgelegt, nach hinten gegen eine Anschlagfläche ausgerichtet und anschließend nach unten gegen Auflageleisten gespannt. (Abbildung 2-3) Die einzigen reibungsbehafteten Bewegungen, welche die Treppenstufe macht, passieren durch das Einzentrieren in die Prismenrollen beim Einlegen und beim Transport auf den Zentrierrollen gegen die hintere Anschlagfläche. Beide Bewegungen beziehen sich aber nur auf ein paar Millimeter. Alle anderen notwendigen Versetz- und Vorschubbewegungen werden in der neuen Anlage direkt von den Fräs- und Entgrateinheiten durchgeführt, sodass das Werkstück nach dem einmaligen Ausrichten und Spannen nicht mehr bewegt werden muss.

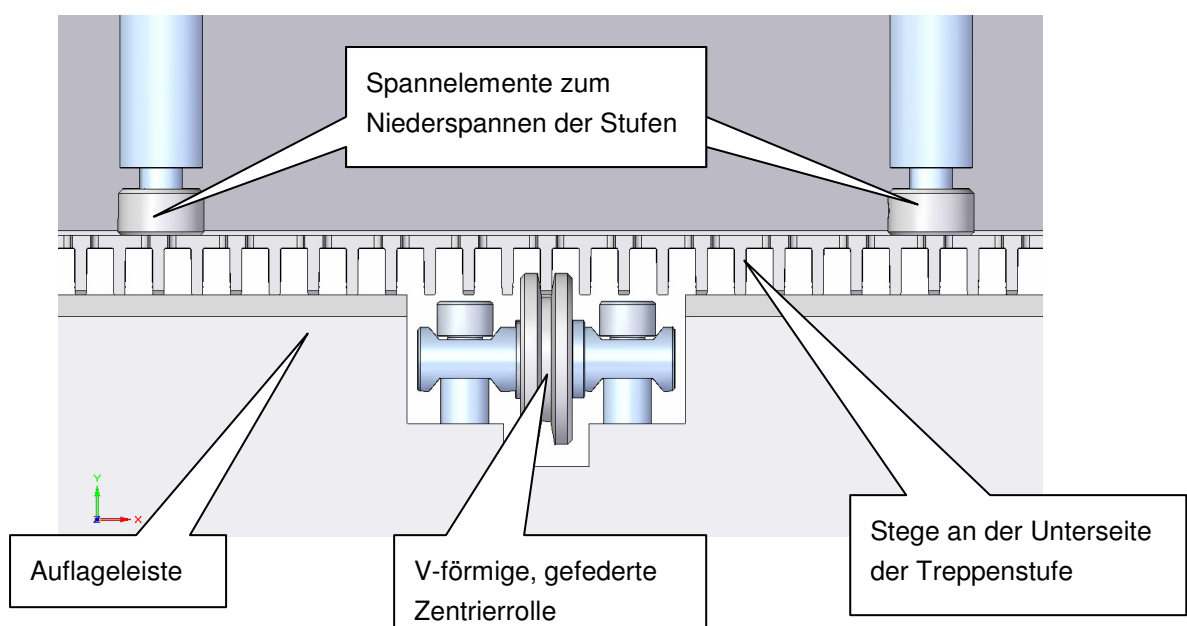


Abbildung 2-3: Stufenmanipulation

Das Material für diese Zentrierrollen darf erstens die Stege an der Stufenunterseite nicht beschädigen, und zweitens auch selbst keine merkbaren Verschleißerscheinungen aufweisen. Bei Verschleiß der Prismenfläche würde sich die Toleranz der Mittigkeit des Bauteils in der Anlage verschlechtern.

Variantenvergleich verschiedener Materialkombinationen für das Einzentrieren auf den Rollen: (Werte lt. RM TB 4-1; Leute Tab 2.1; Herstellerangaben)

Variante	Rollenmaterial	Härte der Rolle	Härte der Treppenstufe	Reibungskoeffizient Rolle zu Treppenstufe
1	S235JR	102-140 HB	60 HB	0,6
2	42CrMo4, gehärtet (nitriert) auf ca. 56 HRC	250 HB; Außenschicht nitriert auf ca. 56 HRC	60 HB	0,5
3	PA 6	Shore A/D D82/D68	60 HB	0,3

Tabelle 2-1: Variantenvergleich

Variante 1:

Aufgrund des hohen Reibungskoeffizienten und der relativ geringen Härte ist es nicht auszuschließen, dass die Stahlrollen auf Dauer leichte Verschleißerscheinungen aufweisen werden. Ebenfalls ist es möglich dass die Aluminiumstege der Treppenstufen von den Stahlrollen leicht beschädigt werden könnten.

Variante 2:

Aufgrund der hohen Härte des Stahls ist es fast auszuschließen, dass an den Rollen, auch nach längerer Betriebsdauer, Verschleißerscheinungen auftreten. Der etwas niedrigere Reibungskoeffizient würde auch die Aluminiumstege der Treppenstufe besser vor Abrieb schützen.

Variante 3:

Durch den niedrigen Reibungskoeffizienten und dem Härteunterschied des Kunststoffs gegenüber dem Aluminium ist es auszuschließen, dass die Treppenstufen beim Zentrier- und Ausrichtvorgang von den Rollen beschädigt werden können. Jedoch muss damit gerechnet werden, dass die Kunststoffrollen schnell Verschleißspuren aufweisen werden und dadurch die Genauigkeit beim Zentrieren des Werkstücks nicht mehr erreicht wird.

Da Variante 1 keine Vorteile aufweisen kann, und Variante 3 ein zu oftmaliges Tauschen der Rollen mit sich bringen würde, habe ich mich für die Variante 2 mit den gehärteten Rollen entschieden. Die Möglichkeit, dass die Aluminiumstege der Stufen von den gehärteten Stahlrollen doch leicht beschädigt werden könnten, wurde aufgrund der nur sehr kurzen Relativbewegung beim Ausrichtvorgang vernachlässigt.

Auch für alle weiteren Berührungsbauteile (wie z.B. Anschlagflächen, Spannelemente,) stellt sich die Frage des Materials. Da bei fast allen Anschlag- und Berührungsteilen die Verschleißfestigkeit von großer Bedeutung ist, wäre es sinnvoll alle diese Teile aus gehärtetem Stahl auszuführen. Bei einigen Teilen (wie z.B. den unteren Auflageleisten) ist dies auch gefahrenlos möglich ohne die Aluminiumtreppenstufen zu beschädigen.

Bei anderen Teilen (wie z.B. den Spannelementen und Greiferbacken) muss zuerst geprüft werden, ob sich durch die auftretenden Kräfte keine Druckstellen im Aluminiumteil bilden könnten:

$$p = F / A$$

p.....Flächenpressung

F.....Kraft

A.....Berührungsfläche

- 1) Spannelemente zum Niederspannen von oben:
Spannkraft pro Spannelement ca. 200N
Berührungsfläche ca. Ø20mm

$$\text{Flächenpressung } p = F / A = 200\text{N} / 314,16\text{mm}^2 = \underline{0,6\text{N/mm}^2}$$

- 2) Greiferbacken zum Greifen der unteren Stege:
Spannkraft des Greifers ca. 470N
Berührungsfläche ca. 25x10mm

$$\text{Flächenpressung } p = F / A = 470\text{N} / 250\text{mm}^2 = \underline{1,9\text{N/mm}^2}$$

- 3) Hinterer Anschlagblock:
Druckkraft beim Ausrichten gegen die Anschlagfläche ca. 120N
Berührungsfläche ca. 70x3,7mm

$$\text{Flächenpressung } p = F / A = 120\text{N} / 259\text{mm}^2 = \underline{0,46\text{N/mm}^2}$$

Max. zulässige Spannung der Treppenstufe ca. 240N/mm² (lt. Herstellerangaben)

Es sollte in allen drei Fällen zu keinen Beschädigungen an den Treppenstufen kommen, da die Flächenpressungen an den einzelnen Berührungsflächen sehr niedrig sind.

Aufgrund dieser Überlegungen bin ich zu dem Entschluss gekommen, alle Anschlag- und Berührungsflächen aus gehärtetem Stahl auszuführen, um damit die optimale Verschleißfestigkeit dieser Bauteile zu gewährleisten.

2.3 Ausrichtung und Positionierung:

Wie bereits in Abschnitt 1.2 erwähnt, wurden bei der bestehenden Bearbeitungsstation die Ausrichtungs- und Anschlagpunkte so ungünstig gewählt, dass die geforderten Werkstücktoleranzen bei den Bearbeitungen nicht eingehalten werden konnten. Ziel sollte es nun sein, die für diese Bearbeitungen optimalen Anschlagflächen zu finden.

Die Fertigungstoleranzen der Treppenstufen auf den Werkstückzeichnungen sind größtenteils von der Bauteilmitte aus angegeben, deshalb ist es sinnvoll die Stufe auch über die Mitte zu zentrieren. Dazu bieten sich die Stege an der Unterseite optimal an, denn jede Treppenstufe (egal ob Breite 600, 800 oder 1000) besitzt genau in der Stufenmitte einen dieser Stege. Somit wird die Treppenstufe beim Einlegen in die Bearbeitungsstation in der Mitte mit seinem Steg in zwei V-Rollen eingelegt, wodurch die Stufe exakt zentrisch in der Anlage liegt. Dadurch ist die Stufe in der 1. Richtung vollständig ausgerichtet.

Als Auflage dienen zwei durchgehende Auflageleisten an der Stufenunterseite. Da diese Unterseite bereits über eine ausreichend ebene Fläche verfügt, bietet sie sich optimal zum Auflegen der Treppenstufe an.

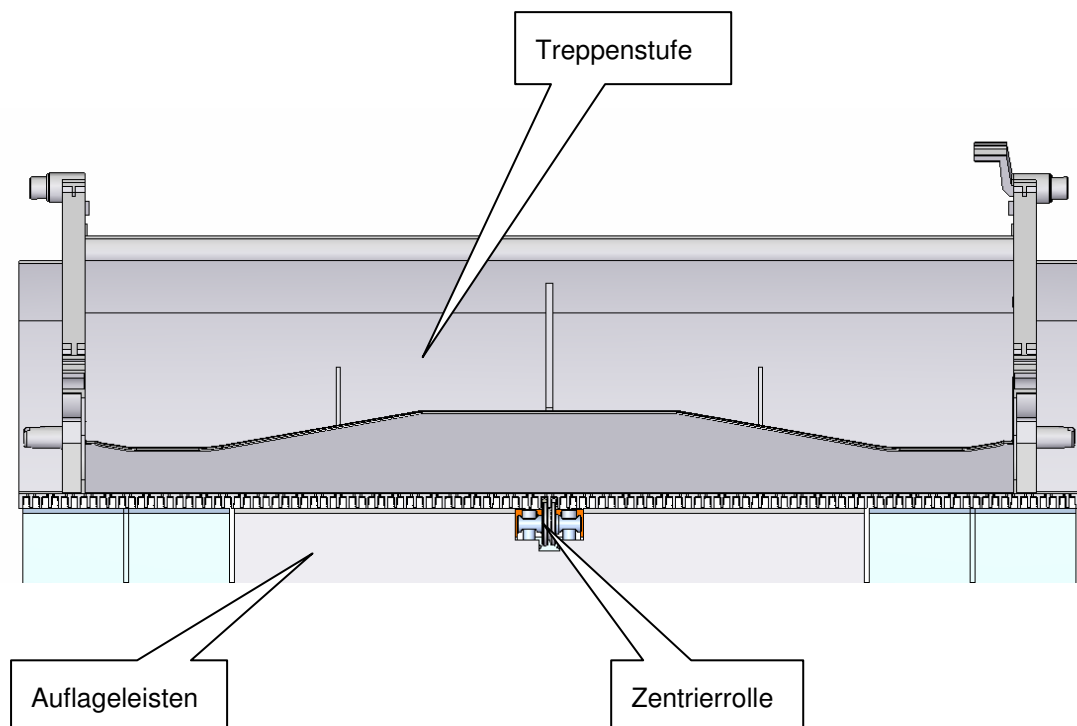


Abbildung 2-4: Stufenausrichtung

Die aufliegenden Treppenstufen sind bereits in zwei V-Rollen zentriert und können somit auch nicht mehr verdreht werden. Sie müssen nur mehr in einer Richtung ausgerichtet werden. In Längsrichtung der Rillen werden die Treppenstufen an ihrer Rückseite gegen eine Anschlagfläche gedrückt. Diese Anschlagfläche hat nur eine Breite von ca. 70mm und sitzt genau in der Stufenmitte, wo die Stufen auch zentriert werden. Eine breitere oder mehrere Anschlagflächen über die gesamte Stufenlänge wären nicht sinnvoll, da die Treppenstufen dann überbestimmt wären.

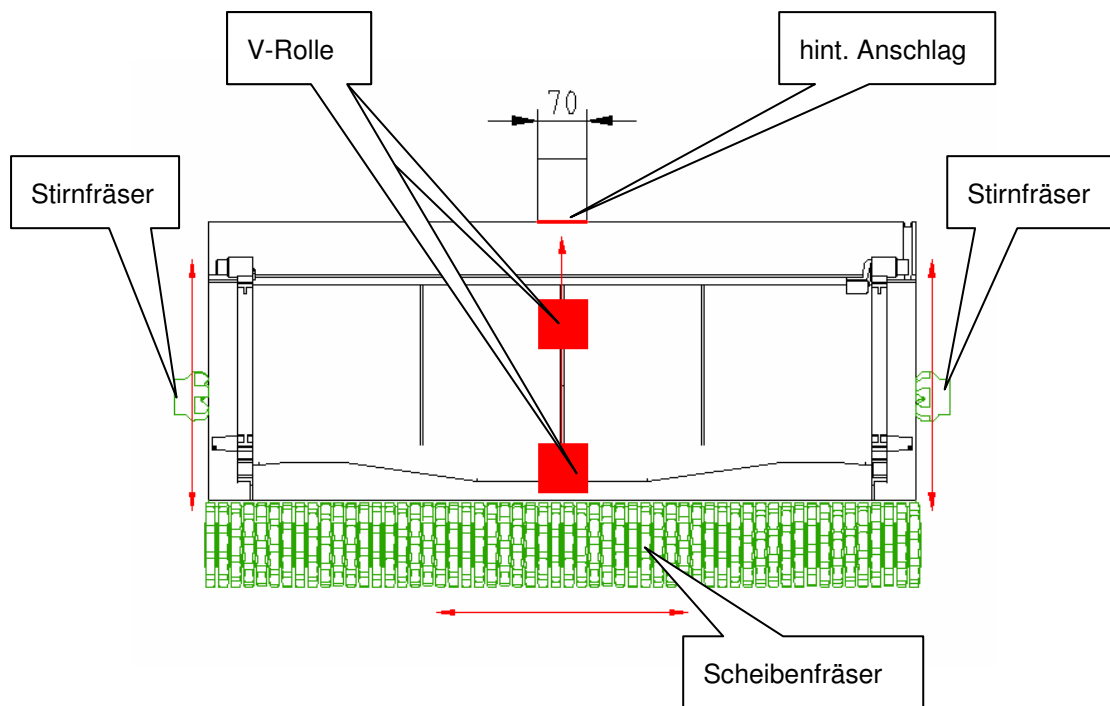


Abbildung 2-5: Bearbeitungswege / Auflagen / Anschläge

Die Stufen sind vollständig und exakt ausgerichtet und werden in dieser Lage gespannt. Die leicht gebogene Kontur auf der Stufenrückseite spielt keine große Rolle, da die komplette vordere Fläche in der selben Aufspannung gefräst wird, und somit die gefrästen vorderen Rillen durchgehend über die gesamte Länge exakt rechtwinkelig zum mittleren Steg an der Unterseite sind. Ebenfalls ist diese Ausrichtung für das Fräsen der Stirnseiten optimal, da diese auch parallel zum mittleren Steg, und dadurch auch zu den vorderen gefrästen Rillen, bearbeitet werden. Auch die Stufengesamtlänge, welche auch von der Mitte aus mit Fertigungstoleranzen versehen ist, kann maßlich eingehalten werden.

Ziel ist es, die Treppenstufe während der kompletten Bearbeitung in dieser Position gespannt zu halten, um Abweichungen welche durch ein weiteres Entspannen und Ausrichten (wie bei der bestehenden Anlage) auftreten würden, zu verhindern.

Dies kann in diesem Fall auch verwirklicht werden, da die eingesetzten Zentrier- und Anschlagenelemente nur im Bereich der Stufenmitte angeordnet sind und mit den Bearbeitungswerkzeugen nicht kollidieren können. Das Werkstück bleibt einmalig gespannt und die Werkzeuge führen die notwendigen Versetzbewegungen in Richtung der Werkstücklänge aus.

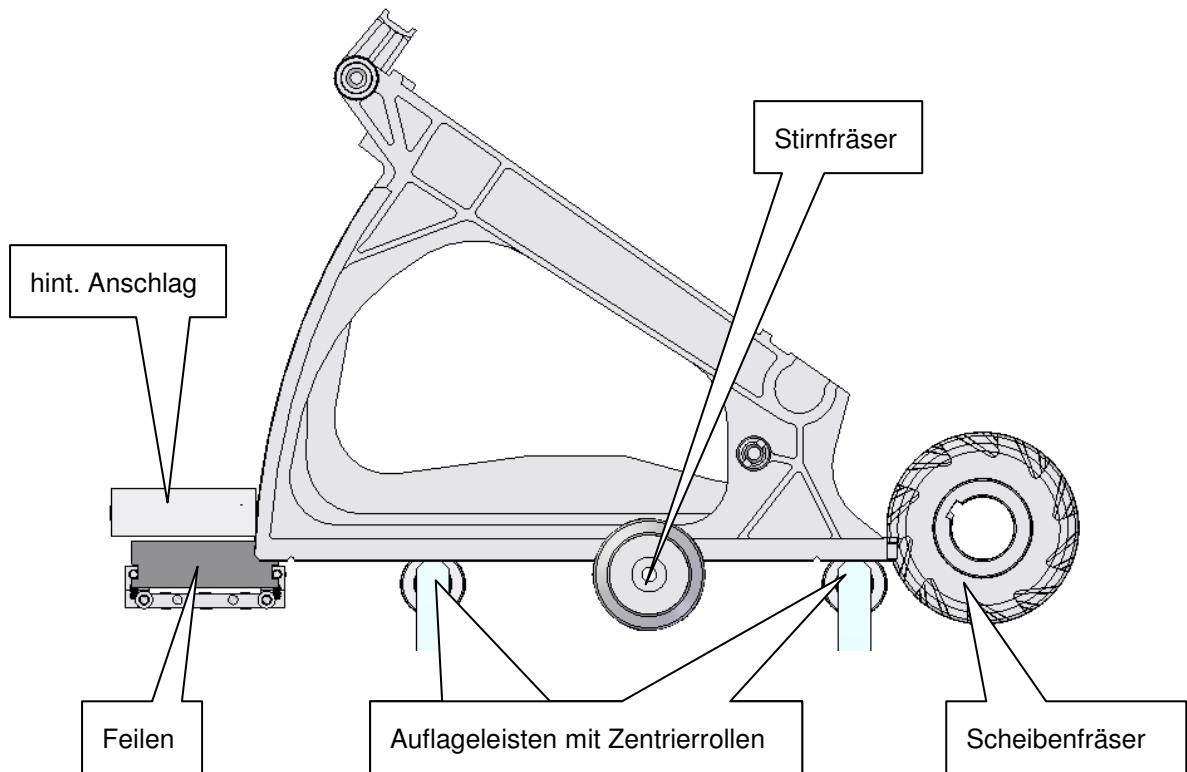


Abbildung 2-6: Werkzeuganordnung

Die Scheibenfräser können problemlos die gesamte Vorderseite der Stufen bearbeiten, da diese vollständig freigestellt ist, und auch die Feilen an der Rückseite können ihren Bearbeitungsbereich über die gesamte Werkstücklänge erreichen. Ebenfalls können die Stirnfräser für die Entgratung der Stirnseiten ihre Bearbeitungskontur vollständig abfahren, da hier keine Anschlag- und Ausrichtungselemente sind und die unteren Auflageleisten um ein paar Millimeter kürzer als die Gesamtlänge der Stufe sind.

Lediglich bei einem Typenumbau zu einer kürzeren Werkstücklänge müssen die unteren Auflageleisten in diesem Bereich entfernt, bzw. ausgetauscht werden, da die Stirnfräser für die stirnseitige Bearbeitung um den Längenunterschied zur Mitte hin hereinversetzt werden und dadurch mit den überstehenden Auflageleisten kollidieren würden.

2.4 Spannen und Fixieren:

Wie bereits in Abschnitt 1.2 erwähnt, wurde bei der bestehenden Bearbeitungsstation die Treppenstufe nicht ausreichend gespannt um eine toleranzgerechte Bearbeitung durchzuführen. Dies sollte nun wesentlich besser ausgeführt werden.

Nach dem zentrierten Einlegen der Treppenstufen in die Station, werden sie an dem Steg an der Unterseite mit einem Pneumatikgreifer gegriffen und über einen weiteren Pneumatikzylinder zum hinteren Anschlag gedrückt. Anschließend erfolgt der eigentliche Spannvorgang, welcher die Treppenstufen von oben gegen die Auflageleisten niederspannen soll. Dieses Spannen muss mindestens die Kräfte aufnehmen, welche durch die div. Bearbeitungen am Werkstück auftreten.

Hier eine Aufstellung der Kräfte mit welchen bei den einzelnen Bearbeitungen gerechnet werden muss:

1) Beim Fräsen der Rillen an der Vorderseite:

Bei diesem Bearbeitungsvorgang werden die Rillen an der Stufenvorderseite nachgefräst. Diese Rillen besitzen bereits annähernd die gezeichnete Kontur, nachgefräst wird lediglich der überstehende Grat bzw. ein mögliches Konturübermaß welches durch Formverschleiß des Gußwerkzeuges entsteht. Laut Praxiswerten des Kunden kann davon ausgegangen werden, dass maximal ca. 0,5mm der Rillenkontur (Abbildung 2-7) nachgefräst wird. Dieses Nachfräsen wird durch Pakete von je 14 Stück Scheibenfräsern verwirklicht. Insgesamt sind pro Bearbeitungsvorgang zwei Pakete im Einsatz. Jedoch sind die einzelnen Fräterschneiden an den Paketen versetzt angeordnet, sodass pro Paket nur jeweils zwei Fräser gleichzeitig im Eingriff sind. Das entspricht also insgesamt vier Rillen welche gleichzeitig bearbeitet werden.

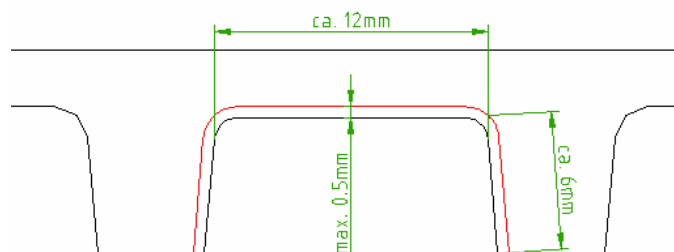


Abbildung 2-7: Rillenanordnung

Gesamtumfang einer Rillenkontur = ca. 24mm
max. Übermaß = ca. 0,5mm

Die beim Fräsen pro Rille auftretende Schnittkraft wird wie folgt berechnet:
(Zerspanntechnik) S. 200 - 207

$$\Delta \varphi = \arccos (1 - (2 \times a_e) / d)$$

$\Delta \varphi$Eingriffswinkel

a_eArbeitseingriff = 0,5mm

dFräserdurchmesser = 120mm

$$\Delta \varphi = \arccos (1 - ((2 \times 0,5\text{mm}) / 120\text{mm})) = \underline{7,4^\circ = 0,13\text{rad}}$$

$$h_m = (2 / \Delta \varphi) \times (a_e / d) \times f_z \times \sin \kappa$$

h_mHalbwinkelspannungsdicke

f_zVorschub pro Schneide = 0,5mm

κEinstellwinkel = 90°

$$h_m = (2 / 0,13\text{rad}) \times (0,5\text{mm} / 120\text{mm}) \times 0,5\text{mm} \times 1 = \underline{0,032\text{mm}}$$

$$F_{Cm} = b \times h_m \times k_{cm}$$

F_{Cm}mittl. Schnittkraft

bSpannungsbreite = 24mm

k_{cm} mittl. spezifische Schnittkraft $\approx 5 \times R_m$ (Überschlagsrechnungswert lt.
Zerspanntechnik S.20)

R_m240N/mm² (lt. Herstellerangaben)

$$k_{cm} = 5 \times 240\text{N/mm}^2 = \underline{1200\text{N/mm}^2}$$

$$F_{Cm} = 24\text{mm} \times 0,032\text{mm} \times 1200\text{N/mm}^2 = \underline{921,6\text{N}}$$

Die überschlagsmäßig berechnete mittl. Schnittkraft F_{Cm} pro Rille beträgt 921,6N.

Das ergibt bei einem gleichzeitigen Eingriff von vier Fräsern eine Gesamtschnittkraft von 3686,4N.

Gewählt wurden vorab 8–16 Stk Spannelemente (8 Stk bei Werkstücklänge 600mm, 12 Stk bei Länge 800mm und 16 Stk bei Länge 1000mm) verteilt über die gesamte Werkstücklänge, welche zur Hälfte im Abstand von 15mm und zur anderen Hälfte im Abstand von 300mm zur Bearbeitungsstelle sitzen.

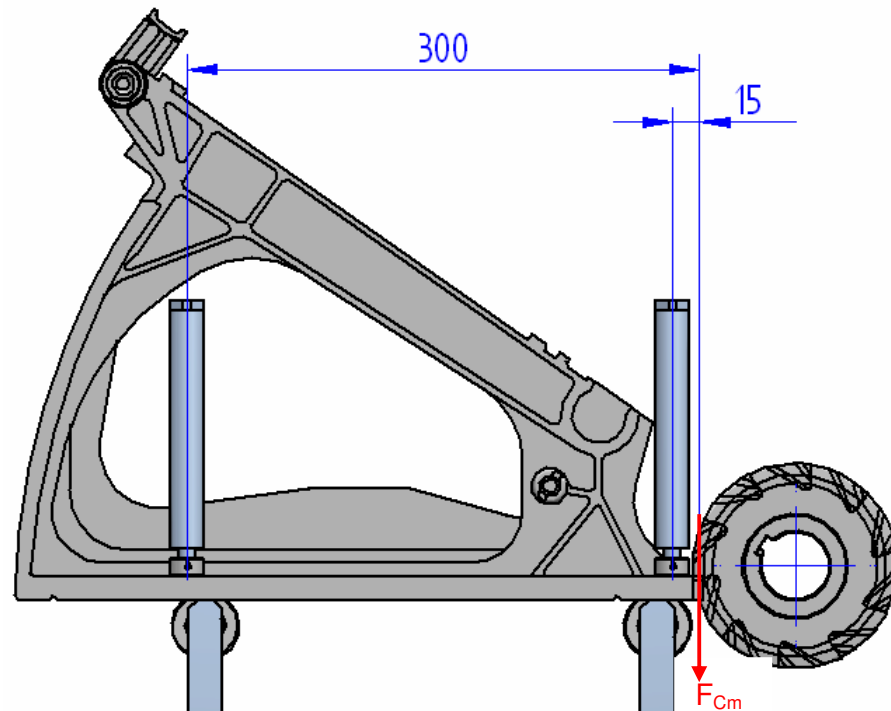


Abbildung 2-8: Schnittkraft beim Fräsen der vorderen Rillen

Dabei wird davon ausgegangen, dass die Schnittkraft der Scheibenfräser beim Gegenlaufräsen (Drehrichtung der Fräser anhand der Abbildung 2-8 gegen den Uhrzeigersinn und Vorschub der Fräser nach unten) größtenteils senkrecht nach unten gegen die Auflageleisten wirkt.

Somit besteht in erster Linie die Gefahr des Aushebelns der Treppenstufe über einen gedachten Drehpunkt bei den vorderen Auflageleisten.

Das ergibt in dieser Anordnung der Spannelemente im ungünstigsten Fall (Werkstücklänge 600mm – nur 8 Stk Spannelemente) folgende Situation:

Die Schnittkraft wirkt im Abstand von ca. 15mm als Moment auf den gedachten Drehpunkt und dieses Moment muss von den vier hinteren Spannelementen im Abstand von ca. 285mm gegengehalten werden.

$$3686,4\text{N} \times 15\text{mm} = F_{\text{Sp}} \times 285\text{mm} \times 4$$

$$F_{\text{Sp}} = (3686,4\text{N} \times 15\text{mm}) / (285\text{mm} \times 4) = \underline{48,5\text{N}}$$

Daraus resultiert eine notwendige Spannkraft pro Spannelement von 48,5N.

2) Beim Feilen der Rillen an der Unterseite:

In diesem Bearbeitungsschritt werden die Rillen an der Unterseite über einen Bereich von 40mm entgratet, bzw. gefeilt. Die Anzahl der Rillen an der Unterseite ist ungefähr doppelt so hoch wie die der an der Vorderseite. Dieser Feilvorgang geschieht gleichzeitig mit zwei Feilpaketen. Diese Feilpakete sind aber je nach Werkstücktyp tausch- bzw. versetzbar und dadurch genau darauf abgestimmt, dass die kpl. Werkstücklänge mit einmaligem Versetzen der Feileinheiten bearbeitet werden kann, ohne dass ein Teil der Feileinheit über die Gesamtlänge des Werkstückes hinausragt. Ein Hinausragen über die Werkstücklänge würde die Stirnseite der Treppenstufe beschädigen.

Werkstücktyp	Anzahl der Rillen an der Vorderseite	Anzahl der Rillen an der Unterseite	Anzahl der Feilen je Feilpaket
Länge 1000	56	110	28
Länge 800	45	88	28
Länge 600	34	66	19

Tabelle 2-2: Vergleich Feilenpakete

Beim Feilen dieser Rillen wird nur ein 1mm langer Grat mit einer Stärke von maximal ca. 0,1 - 0,2mm in einem Bereich von 40mm abgenommen.

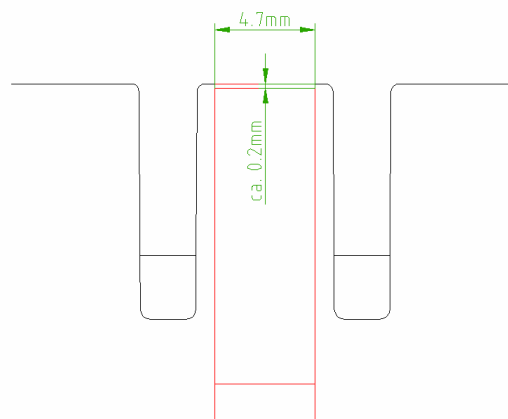


Abbildung 2-9: Feilkontur

Die durch die gefedert aufgebauten Feilen zu erwartende auftretende Kraft an der Treppenstufe wird als sehr gering angenommen und daher nicht gesondert berechnet.

3) Beim Fräsen der Stirnseiten:

Bei diesem Bearbeitungsschritt werden die beiden Stirnseiten der Treppenstufen engratet bzw. nachgefräst. Im Idealfall wird hierbei nur der überstehende Grat an diesen Flächen entfernt, es kann aber jedoch vorkommen dass die Treppenstufen eine Überlänge gegenüber dem Normmaß besitzen und im ungünstigsten Fall die kpl. Flächen nachgefräst werden. Diese Überlängen können sich laut Kundenangaben aber jedoch nur auf max. 0,5mm pro Seite beziehen.

Der zu fräsende Flächenstreifen hat an der dicksten Stelle eine Breite von ca. 14mm. (Abbildung 2-10)

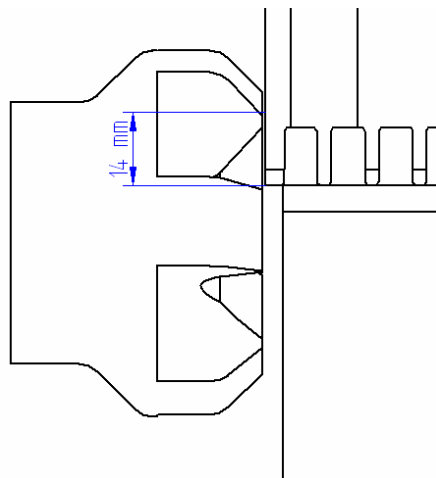


Abbildung 2-10: Stirnfräsen

Die sich daraus beim Fräsen pro Seite ergebende Kraft wird wie folgt berechnet:
(Zerspanntechnik) S. 215 - 220

$$\Delta \varphi = 2 \times \arcsin (a_e / d)$$

$\Delta \varphi$Gesamteingriffswinkel

a_eEingriff = 14mm

dFräserdurchmesser = 50mm

$$\Delta \varphi = \arcsin (14\text{mm} / 50\text{mm}) = \underline{32,5^\circ = 0,567\text{rad}}$$

$$h_m = (2 / \Delta \varphi) \times (a_e / d) \times f_z \times \sin \kappa$$

h_mmittl. Spannungsdicke

f_zVorschub pro Schneide = 0,5mm

κEinstellwinkel = 90°

$$h_m = (2 / 0,567\text{rad}) \times (14\text{mm} / 50\text{mm}) \times 0,5\text{mm} \times 1 = \underline{0,49\text{mm}}$$

$$F_{Cm} = b \times h_m \times k_{cm}$$

F_{Cm}mittl. Schnittkraft

bSpannungsbreite = 0,5mm

k_{cm} mittl. spezifische Schnittkraft $\approx 5 \times R_m$ (Überschlagsrechnungswert lt. Zerspanntechnik S.20)

R_m240N/mm² (lt. Herstellerangaben)

$$k_{cm} = 5 \times 240\text{N/mm}^2 = 1200\text{N/mm}^2$$

$$F_{Cm} = 0,5\text{mm} \times 0,49\text{mm} \times 1200\text{N/mm}^2 = \underline{294\text{N}}$$

Die überschlagsmäßig berechnete mittl. Schnittkraft F_{Cm} beim Stirnfräsen beträgt 294N.

Betrachtet wird aufgrund des symmetrischen Aufbaues der Anlage jeweils nur ein Stirnfräser und die Hälfte der Spannelemente. Im ungünstigsten Fall (Werkstücklänge 600mm) wird dann davon ausgegangen, dass die Stirnfräferschnittkraft von vier Spannelementen gehalten werden muss.

Die auftretende Schnittkraft beim Stirnfräsen wird zur Vereinfachung in den zwei Extremfällen (Abbildung 2-11)

- a) Schnittkraft waagrecht nach vorne
- b) Schnittkraft senkrecht nach oben

betrachtet:

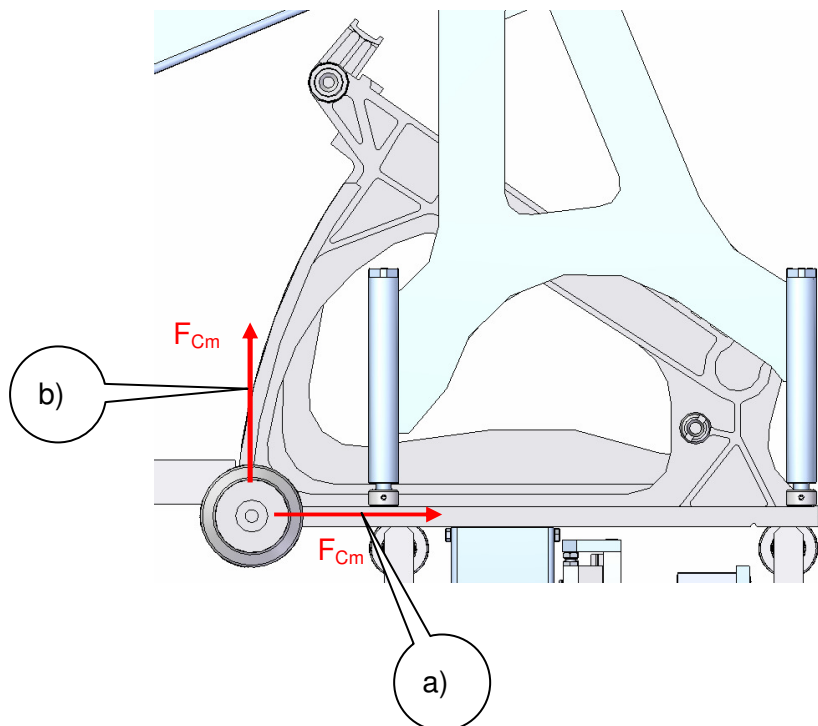


Abbildung 2-11: Schnittkraft beim Stirnfräsen

Fall a): Die Schnittkraft von 294N wirkt waagrecht nach vorne, das Werkstück wird dabei von vier Spannelementen senkrecht von oben niedergespannt.

$$294\text{N} = F_{\text{Sp}} \times \text{Reibfaktor } 0,5 \times 4$$

$$F_{\text{Sp}} = 294\text{N} / (0,5 \times 4) = \underline{147\text{N}}$$

Fall b): Die Schnittkraft von 294N wirkt senkrecht nach oben, das Werkstück wird dabei von vier Spannelementen senkrecht von oben niedergespannt.

$$294\text{N} = F_{\text{Sp}} \times 4$$

$$F_{\text{Sp}} = 294\text{N} / 4 = \underline{73,5\text{N}}$$

Insgesamt ergeben sich also als mindestens notwendige Spannkraft für die einzelnen Bearbeitungen:

- 1) Beim Rillenfräsen vorne: 48,5N
- 3) Beim Stirnfräsen: 147N

Gewählt wurden zum Spannen gefederte Spannelemente, welche eine Druckkraft von jeweils ca. 200N aufbringen.

Die Federung ist notwendig, um etwaige Unterschiede in den Längen der Spannelemente und deren Befestigungen auszugleichen und dadurch sicherzustellen, dass auch immer alle Spannelemente im Eingriff sind.

Die Spannkraft wurde etwas höher gewählt, um auch noch eine gewisse Sicherheit zu haben, für den Fall dass die auftretenden Bearbeitungskräfte die berechneten überschreiten.

Zusätzlich zu diesen Spannelementen würden auch noch der untere Greifer und der Ausrichtzylinder, welcher die Treppenstufen nach hinten gegen den Anschlag drückt, diese bei den Bearbeitungen festhalten. Diese beiden Spannkraften wurden bei dieser Berechnung nicht berücksichtigt und dienen als zusätzlicher Sicherheitsfaktor.

3 Grundlegender Aufbau der neuen Bearbeitungsstation:

3.1 Grundgestell mit Hubbalken:

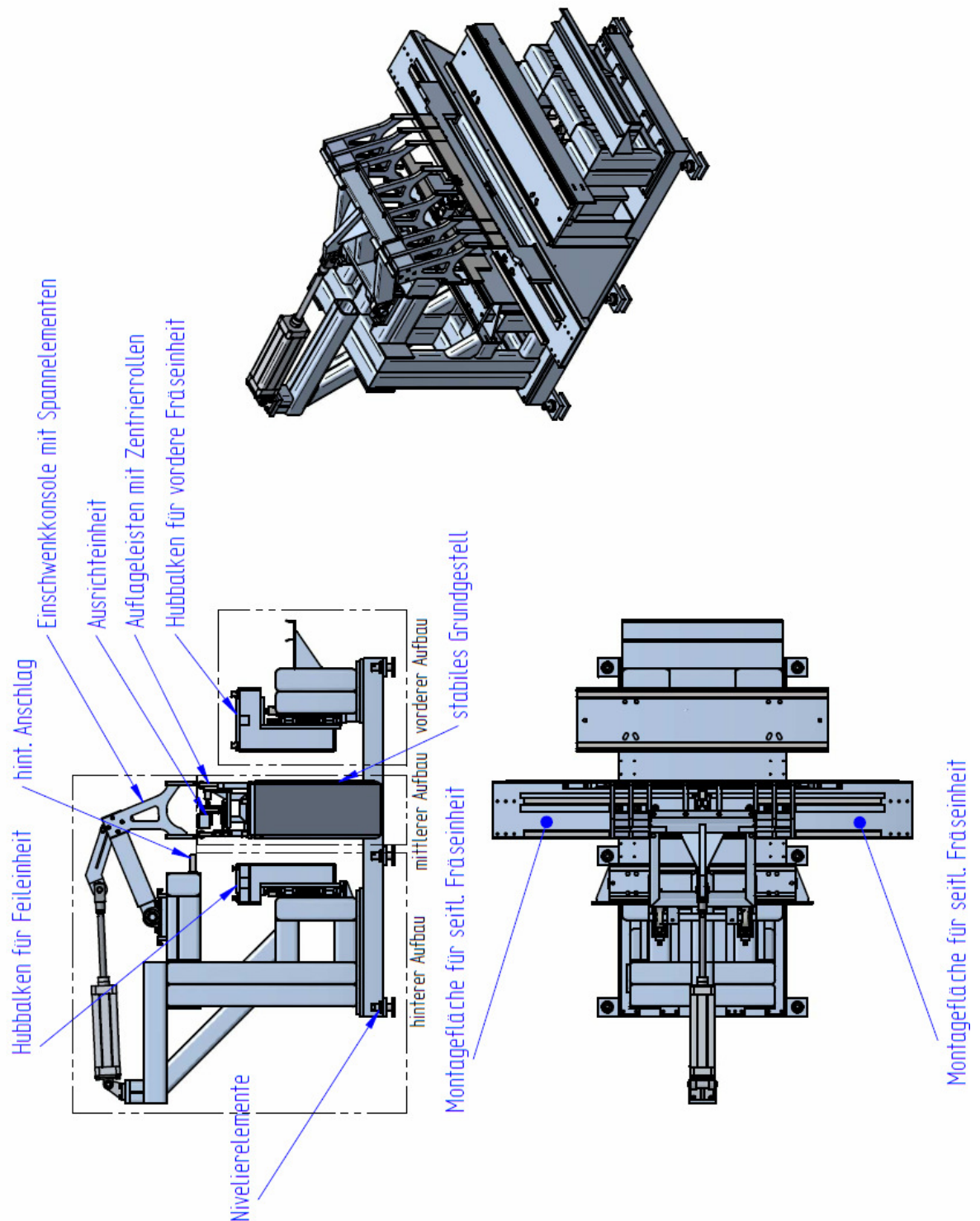


Abbildung 3-1: Grundgestell mit Hubbalken

Das Grundgestell der Bearbeitungsstation besteht aus zusammengeschweißten und bearbeiteten Stahlrahmen und -konsolen. Diese sind hauptsächlich aus dickwandigen Formrohren und U-Profilen zusammengesetzt und sehr massiv ausgeführt, um ein mögliches Vibrieren oder Verformen des Grundrahmens während den Bearbeitungsvorgängen zu vermeiden. Als Material für das Grundgestell wurde vorwiegend allgemeiner Baustahl (S235JR) gewählt, da dieser über eine sehr gute Schweiß- und Verformbarkeit verfügt und auch seine Festigkeit für diese Aufgabenstellung ausreichend ist. Dieser im Maschinenbau oft verwendete, unlegierte Baustahl besitzt ebenfalls eine sehr gute mechanische Bearbeitbarkeit und ist im Vergleich zu den meisten anderen Stählen relativ kostengünstig.

Das Grundgestell wird auf sechs einstellbaren Nivelierelementen aufgestellt. Diese Einstellschrauben verfügen über ein metrisches Feingewinde und ermöglichen dadurch eine optimale und genaue Ausrichtung der Bearbeitungsstation am Hallenboden. Nach dem erfolgten Ausrichten werden diese Elemente anschließend über Bohrungen in der Mitte mit Metalldübeln am Hallenboden befestigt.

Am mittleren Aufbau des Grundgestells befinden sich die Auflageleisten mit den Zentrierrollen. Die Auflageleisten werden aus S355J2 ausgeführt und wie bereits in Abschnitt 2.2 ermittelt, für eine bessere Oberflächenhärte an der Randschicht nitriert. Sie sind als hochgestellte Stege ausgeführt und werden wenn notwendig bei einem Typenumbau der Anlage montiert, bzw. demontiert. Die Notwendigkeit dieser Umbauarbeiten wird noch gesondert in Abschnitt 3.6 beschrieben. Die Zentrierrollen aus 42CrMo4 sind gefedert im Bereich der Auflageleisten befestigt und ebenfalls, wie auch in Abschnitt 2.2 beschrieben, nitriert.

Die Ausrichteinheit ist auch am mittleren Aufbau des Grundgestells montiert. Diese dient wie bereits in Abschnitt 2.2 und 2.3 beschrieben dazu, das eingelegte Werkstück an der Unterseite zu greifen und gegen den hinteren Anschlag zu schieben. Gegriffen wird die Treppenstufe am mittleren Steg an der Unterseite mittels eines Festo-Pneumatikgreifers HGPT-35-A-B-F. Dieser Greifer verfügt bei einem Betriebsdruck von 6 bar über eine Greifkraft von 470N. Auch der minimale Greiferhub von 4mm pro Backe ist ausreichend, da die Treppenstufe bereits durch die Zentrierrollen mittig zentriert wurde und die geöffneten Greiferbacken somit sehr nahe an der Stegkontur positioniert werden können. Die Greiferbacken sind aus unlegiertem Vergütungsstahl C45 ausgeführt und nitriert. Die kpl. Greifereinheit ist ebenso wie die Zentrierrollen leicht gefedert aufgebaut. Diese Federung ist notwendig, da die Treppenstufe beim Niederspannen um ca. 1mm nach unten gegen die Auflageleisten gedrückt wird, und diese Bauteile diese Bewegung auch mitausführen müssen. Diese gefederte Greifereinheit ist auf einer kleinen Linearführung (Standard-Kugelschienenführung GR 15 der Fa. Bosch Rexroth) montiert und wird inkl. dem gegriffenen Werkstück mit Hilfe eines Festo-Kompaktzylinders ADVC-16-10-A-P-A gegen den hinteren Anschlag geschoben. Die 120N große Druckkraft dieses Pneumatikzylinders ist ausreichend, da die Treppenstufe zu diesem Zeitpunkt noch ausschließlich auf den beiden gelagerten Zentrierrollen aufliegt und noch nicht gegen die Auflageleisten niedergespannt wurde.

Am hinteren Aufbau des Grundgestells sind der Anschlagblock und die Einschwenkkonsole mit den Spannelementen angebracht. An dem aus nitriertem C45 hergestellten Anschlagblock wird, wie zuvor beschrieben, die Treppenstufe ausgerichtet. Die aus einem geschweißten Formrohrrahmen aus S235JR hergestellte Einschwenkkonsole ist auf Stehlagern gelagert und an diesem Rahmen sind die einzelnen Spannkonsolen mit den Spannelementen montiert. Je nach Werkstückgröße werden bestimmte Spannkonsolen montiert, bzw. demontiert. (siehe Typenumbau Abschnitt 3.6) Die einzelnen gefedert aufgebauten Spannelemente wurden bereits in Abschnitt 2.4 ausgelegt und besitzen nitrierte Druckstücke aus 42CrMo4, welche die Berührungsfläche zur Treppenstufenoberseite bilden. Die Spannelemente federn sich beim Auftreffen auf das Werkstück je nach Beschaffenheit ca. 5-10mm ein und erreichen dadurch eine Federkraft von jeweils ca. 200N. Der kpl. Schwenkrahmen, welcher in seiner Ausgangsstellung soweit hochgeklappt ist, dass der Roboter das Teil problemlos in die Station einlegen kann, wird über einen Festo-Pneumatikzylinder DNC-125-320-PPV-A eingeschwenkt. Dieser Zylinder besitzt bei einem Betriebsdruck von 6 bar eine Druckkraft von 7363N und kann somit die Federkraft der Spannelemente (im Falle von 16 Spannelementen mit je 200N) von ca. 3200N problemlos überwinden. Der Zylinder fährt in seine vollständige Endlage und dadurch wird der Spanndruck auf das Werkstück einzig durch die Federung der Spannelemente aufgebracht. Zusätzlich wird dieser Pneumatikzylinder in seiner Abluftleitung mit einem entsperbaren Rückschlagventil versehen um ein Herunterklappen des schweren Einschwenkarmes, bei z.B. einem Druckluftausfall während div. Umbau- od. Wartungsarbeiten, zu verhindern.

Der Hubbalken der Feileinheit befindet sich ebenfalls auf dem hinteren Aufbau. Dieser Hubbalken ist eine geschweißte Stahlkonsole, welche geführt auf Linearführungen von einem Festo-Kompaktzylinder ADN-100-50-A-P-A auf und ab gehoben wird. Der Hubbalken selbst besitzt ein Gewicht von ca. 170kg und die darauf aufgebauten Feileinheiten (Beschreibung folgt in Abschnitt 3.3) ein Gesamtgewicht von ca. 60kg. Der Pneumatikzylinder erreicht bei einem Betriebsdruck von 6 bar eine Druckkraft von 4712N und ist somit ausreichend dimensioniert um den Hubbalken hochzuheben und während der Bearbeitung in dieser Lage zu halten. Für die Linearführung des Hubbalkens werden Bosch Rexroth Kugelschienenführungen der Baugröße 35 verwendet.

Für die Auslegung der Kugelschienenführungen wurde das Bosch Rexroth Berechnungsprogramm „Linear Motion Designer“ verwendet. Ein Ausschnitt einer solchen Berechnung folgt auf den Seiten 30 - 32.

Auf der Oberseite dieses Hubbalkens befinden sich Bosch Rexroth Kugelführungsschienen der Baugröße 25, welche als Anschluss für die darauf montierten Feileinheiten dienen. Gleichzeitig bilden diese auch die Linearführung für deren 250mm Versetzbewegung.

Der Hubbalken für die vordere Fräseinheit befindet sich auf dem vorderen Aufbau des Grundgestells. Auch dieser Hubbalken besteht aus einem geschweißten Stahlrahmen, welcher durch einen Pneumatikzylinder, geführt über Kugelschienenführungen, hochgehoben wird. In diesem Fall wird mit viel mehr Gewicht gerechnet als bei der Feileinheit auf der Hinterseite. Dieser Hubbalken besitzt ein Gewicht von ca. 270kg und für die aufgebauten Fräseinheiten (Beschreibung folgt in Abschnitt 3.2) kann man ein Gesamtgewicht von ca. 330kg annehmen. Deshalb werden hier zwei parallel wirkende Festo-Kompaktzylinder ADN-100-50-A-P-A montiert, welche gemeinsam bei 6 bar eine Druckkraft von 9424N erreichen und somit für die vordere Fräseinheit ausreichend sind. Die Berechnung der vertikalen Kugelführungsschienen erfolgte wiederum mit Hilfe der Berechnungssoftware „Linear Motion Designer“.

Weil in diesem Fall das Absenken des Hubbalkens gleichzeitig als Vorschubbewegung beim Fräsen der vorderen Rillen dient, wurde für eine ruhigere Vorschubbewegung ein zusätzlicher Ölbremsszylinder eingebaut. Dieser Ölbremsszylinder Typ ADA 705 M von der Fa. Enidine besitzt eine max. Bremskraft von 11000N und verhindert dadurch eine ruckartige Bewegung beim Absenken (Fräsen). Auf der Oberseite dieses Hubbalkens sind, wie beim Hubbalken für die Feileinheit, Kugelschienenführungen für den Aufbau der Fräseinheiten angeordnet. In diesem Fall wurden, aufgrund des größeren Gewichtes des Aufbaus, Führungen der Baugröße 35 vorgesehen.

Die Montagefläche und die Kugelschienenführungen GR 35 für die Zustellbewegung der seittl. Fräseinheiten (siehe Abschnitt 3.3) befinden sich am mittleren Aufbau des Grundgestells.

Auszug aus dem Berechnungsprotokoll für die vertikalen Linearführungen der vorderen Fräseinheit:

Systemmaße		Formelzeichen	Wert	Einheit
Wagenmittenabstand		LW1	220	[mm]
Wagenmittenabstand		LW2	/	[mm]
Schienenmittenabstand		LS	620	[mm]
Antriebsabstand	in Y-Richtung	LA1	0	[mm]
Antriebsabstand	in Z-Richtung	LA2	30	[mm]
Antriebssteifigkeit	in X-Richtung		1.0e+015	[N/μm]

Betriebswinkel			
Winkel alpha	(Drehung um X-Achse)	0	[°]
Winkel beta	(Drehung um Y-Achse)	90	[°]

Tabelle 3-1: Führungsberechnung – Systemmaße und Betriebswinkel

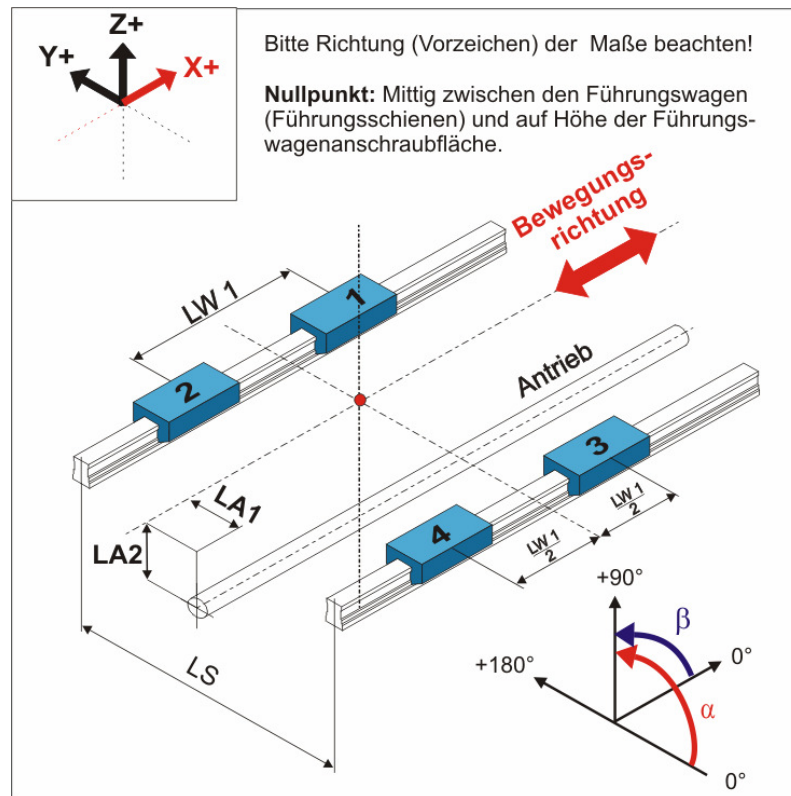


Abbildung 3-2: Führungsberechnung - Systemmaße

Erläuterung: Bei einer Drehung des Systems, dreht sich das abgebildete Koordinatensystem stets mit.

Massenschwerpunkte und Kraftangriffspunkte:

	Bezeichnung der Masse	Masse [kg]	Koordinaten		
			X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
Masse 1	Gewicht	600.000	400	0	-75

	Bezeichnung der Kraft	Kräfte			Koordinaten		
		F _x [N]	F _y [N]	F _z [N]	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
Kraft 1	Schnittkraft Fräsen	3686			600	0	-340

Tabelle 3-2: Führungsberechnung – Massenschwerpunkte und Kraftangriffspunkte

Gewählte Führung:

	Formelzeichen	Wert	Einheit
Profilschienenführungstyp		Kugelschienenführung	
Führungswagengröße		35	
Vorspannung (X% von C)		8	
Führungswagen-Materialnummer*		R1651 324 22	
gewählter Betriebsfaktor	k_f	1.0	
gewählte dynamische Tragzahl	C	41900	[N]
gewählte statische Tragzahl	C_0	54000	[N]
gewähltes dynamisch zulässiges Moment	M_t	890	[Nm]
gewähltes dynamisch zulässiges Moment	M_L	440	[Nm]
maximal zulässige Geschwindigkeit	$v_{\max, \text{zul.}}$	5.000	[m/s]
maximal zulässige Beschleunigung	$a_{\max, \text{zul.}}$	500.000	[m/s ²]
Abschlag wegen geringen Wagenabstand		x	
Abschlag (z.B. bei Kurzhub)		0	[%]

Tabelle 3-3: Führungsberechnung– Gewählte Führung

Belastungen auf die Führungswagen:

	Dyn. äqui. Gesamtbe- lastung F_q [N]	C [N]	Lastverhältnis C/F_q
Führungswagen 1	4288	41900	9.8
Führungswagen 2	4288	41900	9.8
Führungswagen 3	4288	41900	9.8
Führungswagen 4	4288	41900	9.8

Führungswagen 1

$F_{1, y}$	$F_{1, z}$ [N]	F_{Zusatz}	$F_{\text{Vorsp.}}$ [N]	Gesamt [N]
0	1691	0	3352	4288

Führungswagen 2

$F_{2, y}$	$F_{2, z}$ [N]	F_{Zusatz}	$F_{\text{Vorsp.}}$ [N]	Gesamt [N]
0	-1691	0	3352	4288

Führungswagen 3

$F_{3, y}$	$F_{3, z}$ [N]	F_{Zusatz}	$F_{\text{Vorsp.}}$ [N]	Gesamt [N]
0	1691	0	3352	4288

Führungswagen 4

$F_{4, y}$	$F_{4, z}$ [N]	F_{Zusatz}	$F_{\text{Vorsp.}}$ [N]	Gesamt [N]
0	-1691	0	3352	4288

Sicherheitsfaktor:

Max. Belastung auf FW 1	F_{\max}	4288	[N]
statischer Sicherheitsfaktor	C_0/F_{\max}	12.6	
dynamischer Sicherheitsfaktor	C/F_{\max}	9.8	

Tabelle 3-4: Führungsberechnung – Belastungen auf die Führungswagen

Kontrollrechnung für einen Teilausschnitt des Grundgestellquerschnittes:

Für diese Berechnung wird angenommen dass der Pneumatikzylinder mit den Einschwenkkonsolen auf einen Anschlag ausfahren würde, die Federungen der Spannelemente somit vollständig auf Block zusammengedrückt werden, und die gesamte Kraft des Zylinders über seine hintere Befestigung auf den hinteren Aufbau des Grundgestells übertragen wird. Überprüft wird die dabei auftretende Biegespannung am Querschnitt A-A. (Abbildung 3-3)

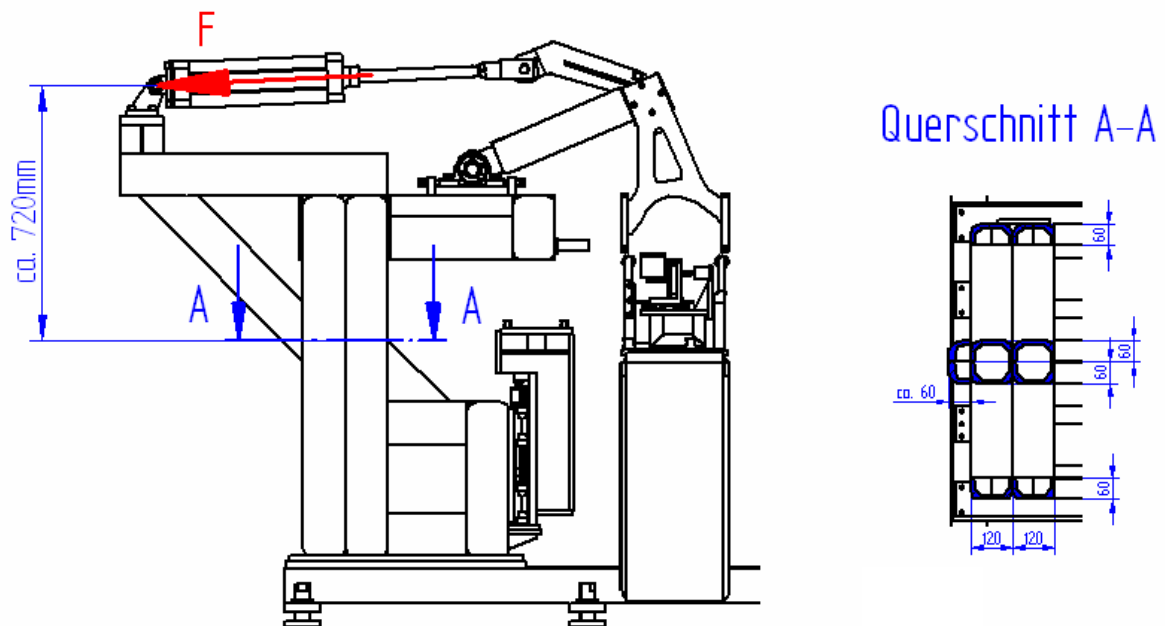


Abbildung 3-3: Berechnung des Grundgestellquerschnittes

Das Grundgestell besteht in diesem Bereich aus einem aus speziellen U-Profilen geschweißten Stahlrahmen aus S235JR. Der zu überprüfende Querschnitt A-A enthält acht vollständige 120x60mm U-Profile und zwei Restflächen dieser Profile, welche in diesem Bereich jeweils ungefähr die Hälfte der Fläche eines vollständigen Profils aufweisen. Die Zylinderkraft wird zur Vereinfachung als komplett waagrecht auftretende Kraftkomponente angenommen.

Trägheits- und Widerstandsmomente dieses U-Profils:

(Werte entnommen
aus CAD-System)

Trägheitsmoment $I_x = 4480145,5 \text{ mm}^4$

Trägheitsmoment $I_y = 682071,2 \text{ mm}^4$

Widerstandsmoment $W_x = 74669,1 \text{ mm}^3$

Widerstandsmoment $W_y = 17211 \text{ mm}^3$

Berechnet wird die in diesem Fall auftretende Biegespannung im Querschnitt A-A:

$$\sigma_b = M_b / W$$

$$M_b = F \times l$$

σ_{bzul} zul. Biegespannung = 330N/mm² (Wert lt. Tabellenbuch S. 44)

M_bBiegemoment

Waxiales Widerstandsmoment

FBiegekraft = 7363N (Wert lt. Herstellerangaben für den Pneumatikzylinder)

lAbstand zum Querschnitt = 720mm

$$M_b = 7363N \times 720mm = \underline{5301360Nmm}$$

$$W_{ges} = 8 \times W_x + 1 \times W_y = 8 \times 74669,1mm^3 + 1 \times 17211mm^3 = \underline{614564mm^3}$$

$$\sigma_b = 5301360Nmm / 614564mm^3 = \underline{8,62N/mm^2}$$

Da die auftretende Biegespannung σ_b weit unter dem zul. Wert σ_{bzul} liegt, ist der geprüfte Grundgestellquerschnitt A-A mit hoher Sicherheit für diese Anwendung ausreichend dimensioniert.

Der stabile Grundgestellaufbau wurde auch in allen anderen Teilbereichen so ausgelegt, dass alle auftretenden Zug-, Druck- und Biegebeanspruchungen problemlos aufgenommen werden können und keine merkbaren Verformungen am Querschnitt auftreten.

3.2 vordere Fräseinheit:

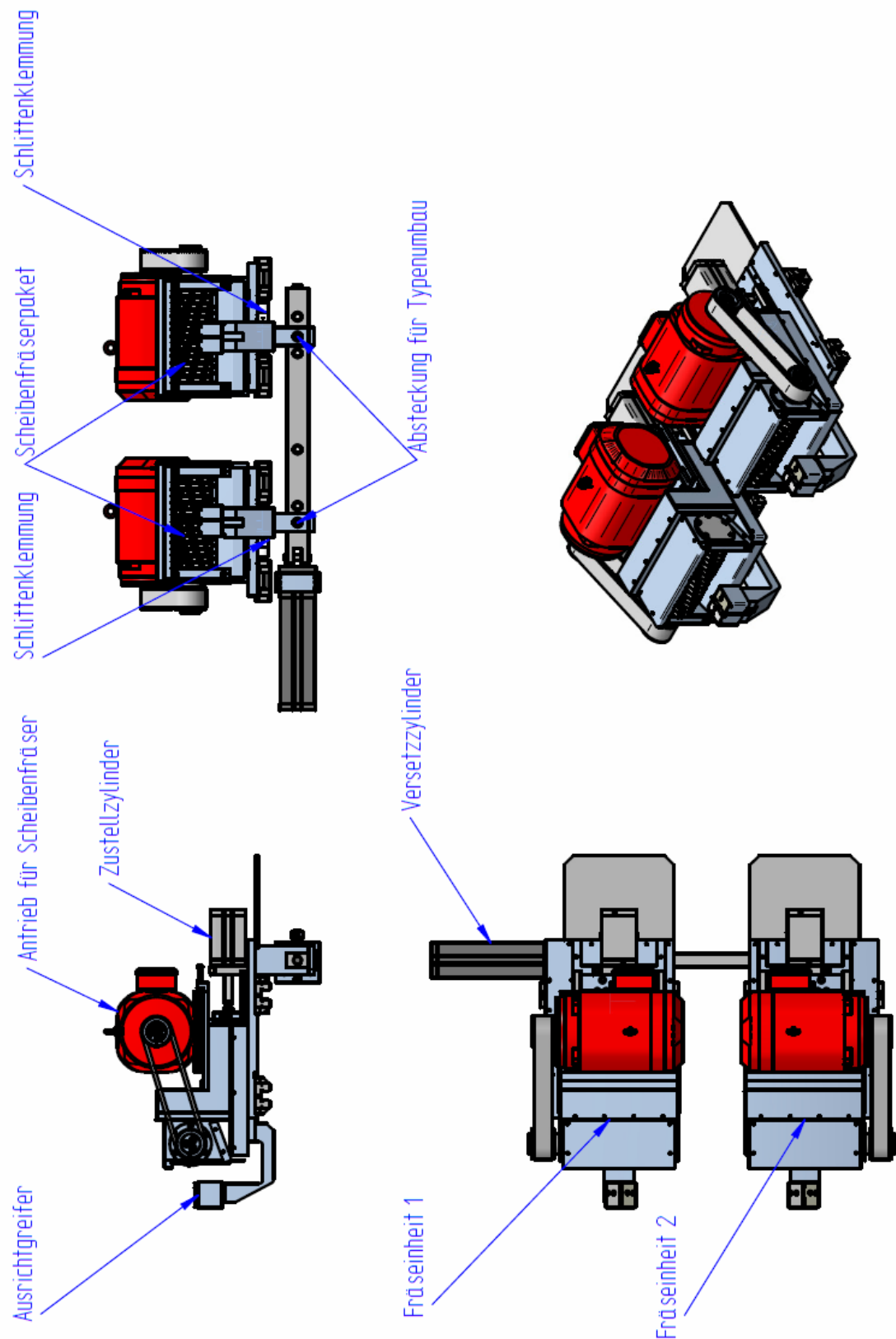


Abbildung 3-4: vordere Fräseinheit

Die vordere Fräseinheit besteht aus zwei einzelnen, spiegelbildlich aufgebauten Fräseinheiten, welche über eine Absteckleiste miteinander verbunden sind. Über diese Absteckleiste wird bei einem Typenumbau der Anlage der notwendige Abstand der beiden Fräseinheiten zueinander von Hand verstellt und abgesteckt. Sie ist eine Stahlleiste aus herkömmlichen S235JR, welche in den Aufnahmebohrungen des Absteckdornes mit Bohrbuchsen versehen ist, um ein Verschleifen, bzw. Ausweiten der Aufnahmebohrungen auch nach längerem Betrieb zu vermeiden.

Die Versetzbewegung zwischen den beiden Bearbeitungsschritten (siehe Arbeitsablauf Abschnitt 2.1) wird über einen Festo-Kompaktzylinder ADN-80-270-A-P-A ausgeführt. Dieser Zylinder erreicht bei einem Betriebsdruck von 6 bar eine Kraft von 3016N beim Vorlauf und 2827N beim Rücklauf. Das Gesamtgewicht der beiden Fräseinheiten, welche auf Kugelschienenführungen auf dem Grundgestell montiert sind, beträgt ca. 330kg. Bei einem angenommenen Reibfaktor von 0,1 für die Kugelschienenführungen würde eine Kraft von ca. 180N ausreichen, um die beiden Einheiten zu verschieben. Somit ist der Pneumatikzylinder mit hoher Sicherheit ausreichend dimensioniert.

Die einzelnen Fräseinheiten bestehen jeweils aus einer Schlittenplatte, an welcher die vier Kugelführungswagen befestigt sind. An der vorderen Seite dieser Schlittenplatte ist eine Konsole montiert, an welcher der Ausrichtgreifer befestigt ist. Dieser Ausrichtgreifer (Festo-Pneumatikgreifer HGPT-35-A-B-F) dient dazu, die Fräseinheit nach dem Hochfahren des Hubbalkens genau zu der Rille an der Stufenunterseite zu positionieren. Die Fräseinheit, welche bis dato noch mit einem Spiel von $\pm 0,5\text{mm}$ in den Absteckbohrungen schwimmend auf den Führungen sitzt, wird anschließend nach diesem Ausrichtvorgang über Zimmer-Schlittenklemmelemente an den Kugelschienenführungen geklemmt. Diese pneumatischen Klemmelemente erreichen eine Klemmkraft von 2200 N pro Klemmelement. Eingesetzt werden pro Fräseinheit 2 Stk dieser Elemente, wodurch sich für jede Fräseinheit eine Gesamtklemmkraft von 4400N ergibt. Mit dieser Kraft werden die Fräseinheiten während der Bearbeitung gegen ein seitl. Verrutschen gesichert.

Der auf Kugelschienenführungen aufgebaute Oberteil der Fräseinheiten wird bei der Bearbeitung durch einen Pneumatikzylinder zugestellt. Der Festo-Pneumatikzylinder ADN-80-100-A-P-A erreicht beim Ausfahren mit 6 bar eine Druckkraft von 3016N und kann problemlos das Gewicht des oberen Aufbaus der Fräseinheiten bewegen. Die vier Bosch Rexroth Kugelführungswagen der GR 25 müssen während des Fräsens die Schnittkraft von 1843,2N (zwei Scheibenfräser pro Fräseinheit) aufnehmen.

Die Auslegung der Kugelschienenführungen erfolgte auf dem Prinzip des Berechnungsbeispiels von den Seiten 30 – 32.

Die Scheibenfräserpakete und deren Antrieb sind auf dem zustellbaren Oberteil der Fräseinheiten montiert.

Die Scheibenfräserpakete sollen jeweils einen Bereich von 250mm abdecken, was 14 Rillen und dadurch 14 Scheibenfräser pro Paket entspricht. Die Auslegung und Aufteilung dieser Fräser wird noch gesondert in Abschnitt 3.1.1 beschrieben.

Als Antriebe für die Fräserpakete wurden SEW-Drehstrommotore gewählt. Die notwendige Motorleistung für diese Antriebe wurde wie folgt errechnet:
(Zerspanntechnik) S. 200 / S. 208

$$n = v_c / (d \times \pi)$$

$$P_{cm} = F_{cm} \times v_c$$

v_cSchnittgeschwindigkeit = gewählt 60m/min

dFräserdurchmesser = 120mm

F_{cm}Schnittkraft pro Fräser = 921,6N

$$n = 60\text{m/min} / (0,12\text{m} \times \pi) = \underline{159,15\text{U/min}}$$

$$P_{cm} = 2 \times 921,6\text{N} \times 60\text{m/min} = 110592\text{Nm/min} = 1843,2 \text{ Nm/s} = \underline{1843,2\text{W}}$$

Bei einer Schnittgeschwindigkeit von 60m/min wird pro Fräseinheit (Zwei Scheibenfräser gleichzeitig im Eingriff) eine Motorleistung von ca. 1,84KW benötigt.

Mit ausreichender Sicherheit wurde deshalb ein SEW-Drehstrommotor Typ DRS112M6/FI gewählt, welcher folgende Motordaten aufweist:

-) Motor-Drehzahl: 955r/min
-) Motor-Leistung: 2.2KW
-) Motor-Frequenz: 50Hz
-) Spannungsbereich: 220-242V Dreieck / 380-420V Stern
-) Nennstrom: 9,60A / 5,20A

Dieser Antrieb wird mittels Frequenzumformer betrieben und auf die für den Betrieb optimale Motordrehzahl eingestellt.

3.1.1 Fräserauswahl:

Die bei der bestehenden Bearbeitungsstation verwendeten Scheibenfräser haben einen Fräserdurchmesser von 100mm und eine Zähnezahl von 10. Die Fräserkontur wurde speziell an die Rillenkontur angepasst.

Zeichnung eines bestehenden Scheibenfräasers:

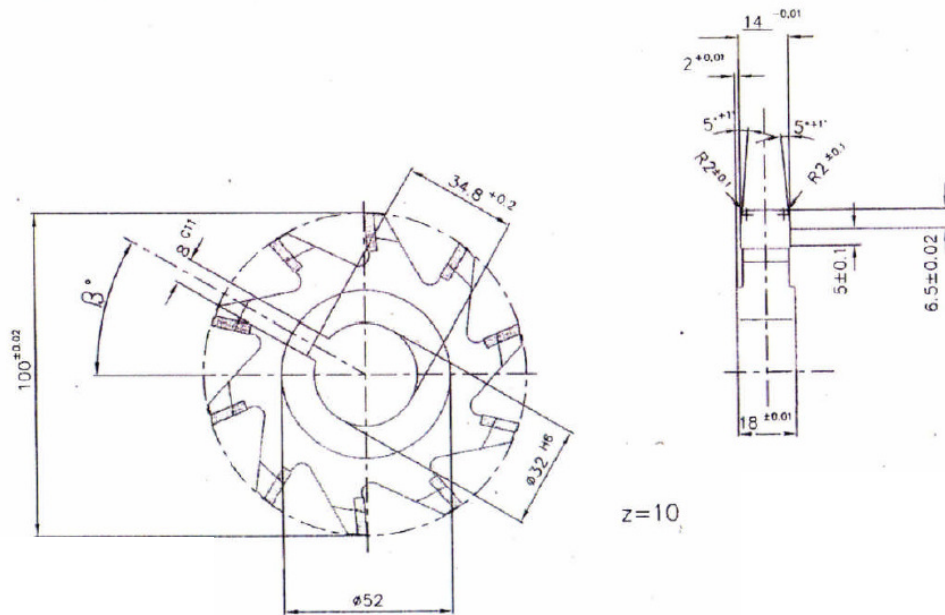


Abbildung 3-5: bestehender Scheibenfräser

Diese Scheibenfräser sind bereits an der bestehenden Anlage problemlos im Einsatz und sollten vom Prinzip auch in der neuen Station gleich aufgebaut sein. Aufgrund der längeren Fräserpakete (Neu 250mm, Alt 200mm) und des neuen konstruktiven Aufbaus der Fräseinheiten, ist es aber notwendig die Fräser im Durchmesser zu vergrößern. Der neue Fräserdurchmesser beträgt nun 120mm. Nach Rücksprache mit der Fräserherstellerfirma (Fa. Meiseleder Hartmetallwerkzeuge GmbH) beträgt die optimale Zähneanzahl für diesen Durchmesser 12. Die Breite des neuen Scheibenfräasers wurde auf 17mm verringert, um eine Möglichkeit zu schaffen die Fräserabstände mittels Distanzscheiben anzupassen. Als Vorschub bei der Bearbeitung wurde ein Wert von 0,1 - 0,5mm pro Zahn angenommen.

Ebenfalls wurden die doch relativ eng gewählten Toleranzen der bestehenden Fräserkontur neu überdacht und nach Absprache mit dem Kunden auf folgende Werte erhöht:

-) Die Schneidenbreite wurde von $14^{-0.01}$ mm auf $14^{-0.04}$ mm erweitert
-) Die Ansatzbreite wurde von $2^{+0.01}$ mm auf $1,5^{+0.04}$ mm erweitert
-) Die Höhe der schrägen Schnittfläche wurde von $6,5^{\pm 0.02}$ mm auf $6,5^{\pm 0.04}$ mm erhöht

Daraus ergibt sich für den Kunden auch eine günstigere Fertigung von Ersatzfräsern.

Es ergibt sich dann folgende Fertigungszeichnung der neuen Scheibenfräser:

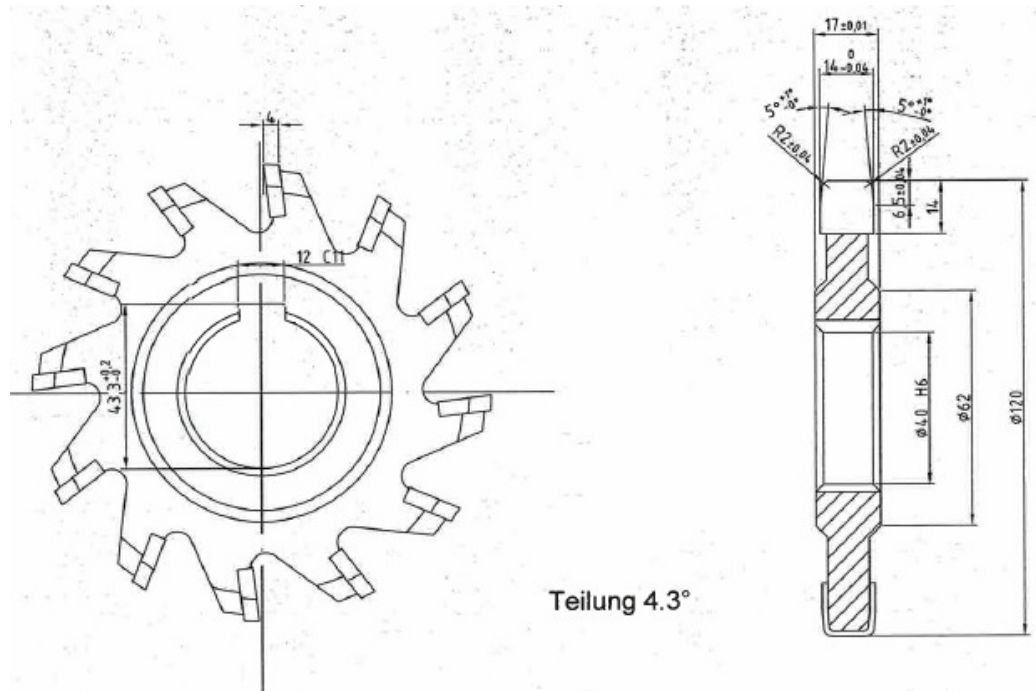


Abbildung 3-6: neuer Scheibenfräser

Die Fräser wurden im Bezug auf ihre Passfedernut versetzt produziert, um eine für die Bearbeitung optimale Spirale zu erreichen. Die einzelnen Scheibenfräser sind jeweils um 4,3° versetzt angeordnet (Abbildung 3-7), sodass bei einem Fräserpaket von 14 Stück sich jeweils nur zwei Fräser gleichzeitig im Eingriff befinden.

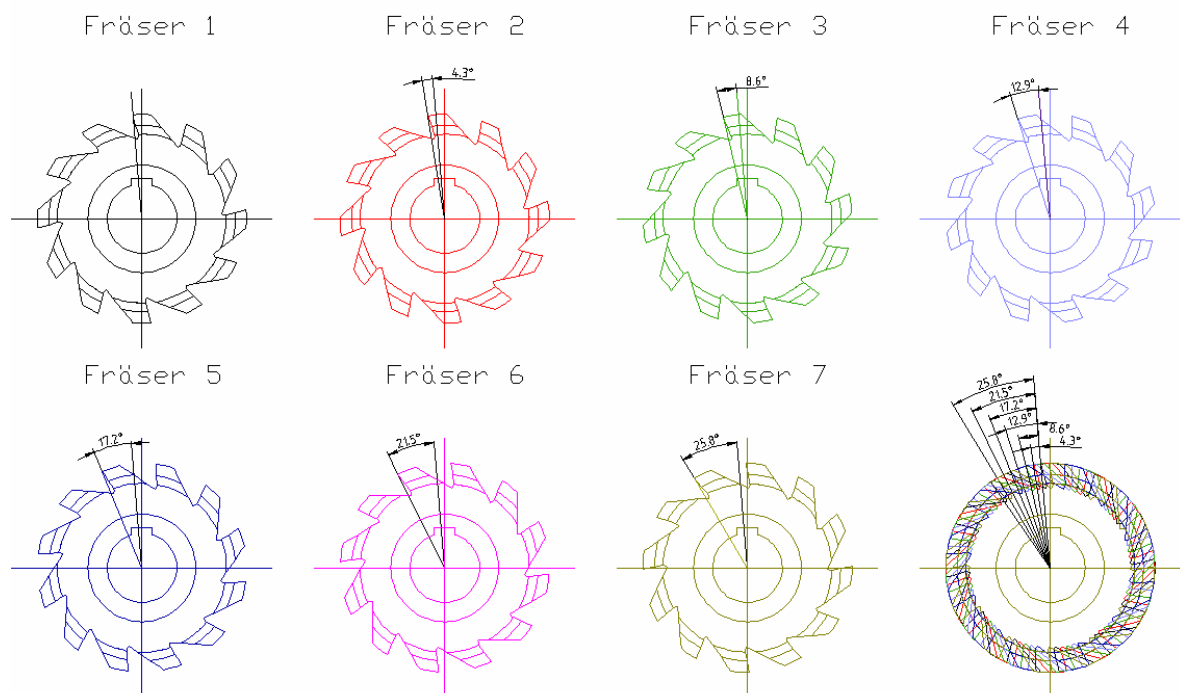


Abbildung 3-7: Fräserversatz

3.3 Feileinheit:

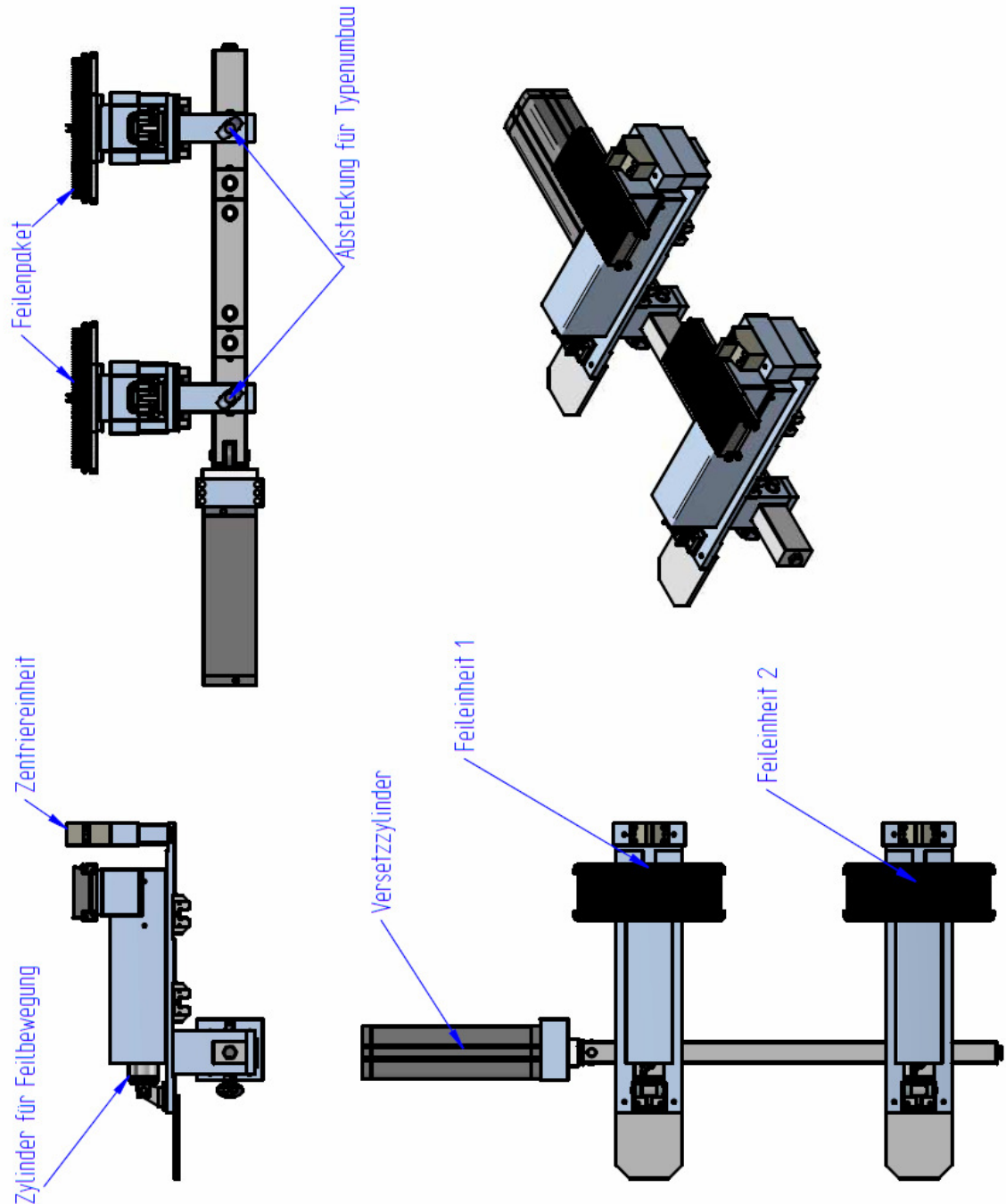


Abbildung 3-8: Feileinheit

Die Feileinheit besteht, wie die vordere Fräseinheit, aus zwei einzelnen Einheiten, welche über eine Absteckleiste miteinander verbunden sind. Über diese Absteckleiste wird wiederum bei einem Typenumbau der Anlage der notwendige Abstand der beiden Feileinheiten zueinander von Hand verstellt und abgesteckt. Diese Absteckleiste ist, wie bei der Fräseinheit, auch in den Absteckbohrungen mit Bohrbuchsen versehen.

Die Versetzbewegung zwischen den beiden Bearbeitungsschritten (siehe Arbeitsablauf Abschnitt 2.1) wird auch hier über einen Pneumatikzylinder ausgeführt. Das Gesamtgewicht der beiden Feileinheiten, welche mittels Kugelschienenführungen auf dem Grundgestell montiert sind, beträgt ca. 60kg. Bei einem angenommenen Reibfaktor von 0,1 für die Kugelschienenführungen würde also eine Kraft von ca. 60N ausreichen, um die beiden Einheiten zu verschieben. Zur Vereinfachung der Ersatzteilwirtschaft (Teilegleichheit) wird aber auch hier derselbe Zylinder (Festo-Kompaktzylinder ADN-80-270-A-P-A) eingesetzt wie bei der vorderen Fräseinheit.

Die einzelnen Feileinheiten bestehen jeweils aus einer Schlittenplatte, an welcher die zwei Kugelführungswagen befestigt sind. An der vorderen Seite dieser Schlittenplatte ist eine Konsole montiert, an welcher die Zentriereinheit aufgebaut ist. Diese Zentriereinheit ist gefedert und hat die Aufgabe beim Hochfahren des Hubbalkens die Feileinheit, welche wiederum in einem Bereich von $\pm 0,5\text{mm}$ in den Absteckbohrungen schwimmend auf den Führungen sitzt, zu den zu feilenden Rillen an der Stufenunterseite auszurichten. Hier wird die Schlittenplatte im Gegensatz zu den vorderen Fräseinheiten in dieser Lage nicht mehr geklemmt, da eine genaue fixierte Position für das Feilen nicht notwendig ist.

Der auf Kugelschienenführungen aufgebaute Oberteil der Feileinheiten wird beim Feilvorgang durch einen Festo-Pneumatikzylinder DNCB-40-30-PPV-A vor und zurück gefahren. Dieser Zylinder erreicht laut Herstellerangaben bei 6 bar Kräfte von 754 bzw. 643N beim Vor- bzw. Rückhub und ist somit zum Aufbringen der notwendigen Feilkräfte ausreichend. Der Bosch Rexroth Kugelführungswagen der GR 25 ist ausreichend groß gewählt um die beim Feilen auftretenden, relativ kleinen Kräfte und das Gewicht der Feilenpakete aufzunehmen.

Die Feilenpakete selbst werden je nach Werkstücktyp ausgetauscht und sind, wie bereits in Abschnitt 2.4 auf Seite 23 beschrieben, genau auf die Werkstücklänge abgestimmt. Die einzelnen Feilensegmente werden vom Kunden beigestellt und wurden bereits in dieser Ausführung in der bestehenden Bearbeitungsstation eingesetzt. Diese Feilensegmente sind im Feilenpaket gefedert montiert, um eine optimale, gleichmäßige Andrückkraft während des Feilvorganges zu erreichen. Der Feilvorgang selbst ist vorab nur als einmalige Vor- und Rückhubbewegung gedacht, könnte aber bei Bedarf und ausreichender Zeit problemlos mehrmalig ausgeführt werden.

Kundenzeichnung einer Feile:

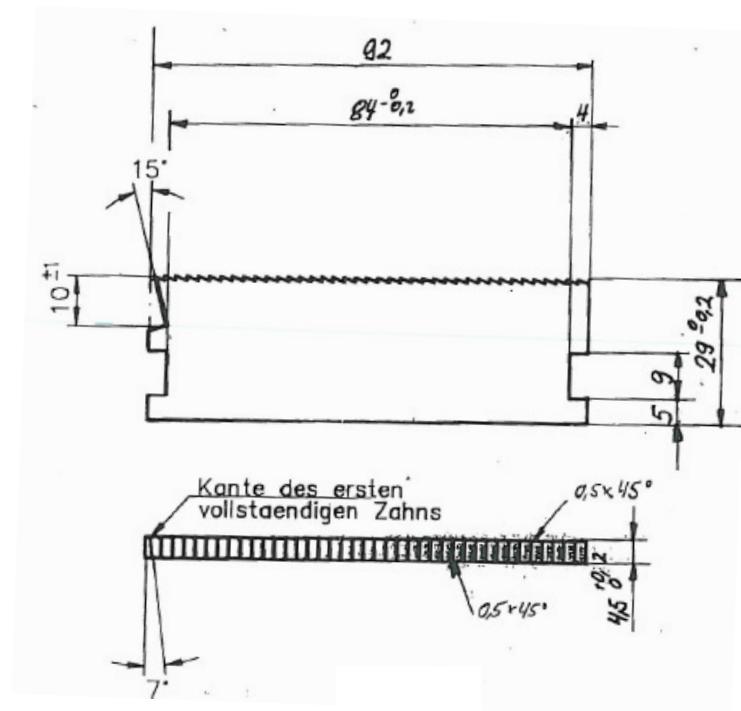


Abbildung 3-9: Zeichnung einer Feile

3.4 seidl. Fräseinheit:

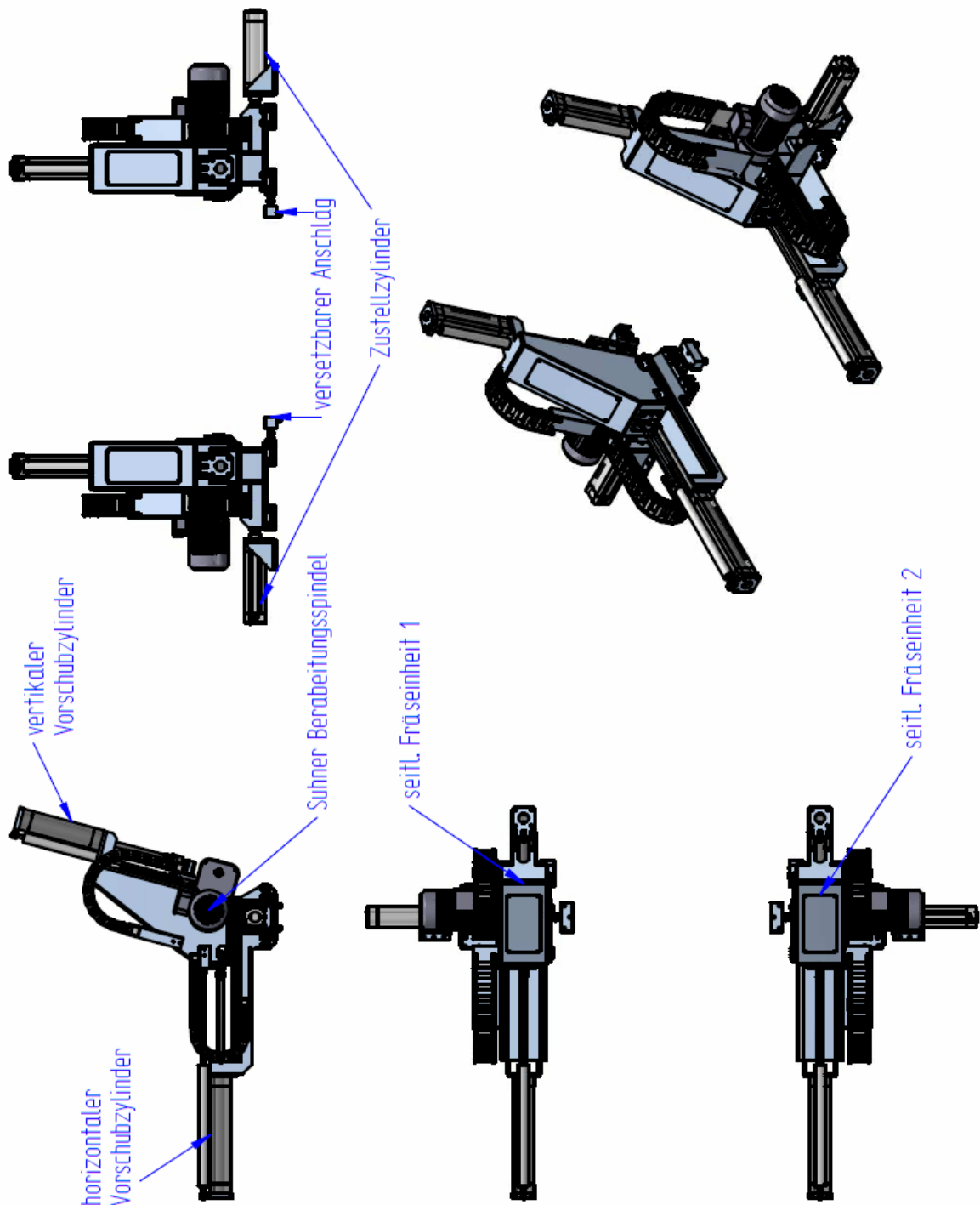


Abbildung 3-10: seidl. Fräseinheit

Die seittl. Fräseinheit besteht aus zwei spiegelbildlich aufgebauten Fräseinheiten, welche über Kugelschienenführungen der Größe 35 auf dem Grundgestell montiert sind. Auf diesen Kugelschienenführungen wird die Zustellbewegung der Fräseinheiten durch Festo-Pneumatikzylinder DNCB-80-230-PPV-A ausgeführt. Jede dieser beiden Fräseinheiten hat ein Gewicht von ca. 180kg und kann mit einem Reibfaktor der Kugelschienenführungen von 0,1 problemlos mit diesen Zylindern bewegt werden. Ein Zylinder dieser Baugröße bringt im Vorlauf bei 6 bar Betriebsdruck 3016N und hält somit die Einheit auch während dem Bearbeitungsvorgang fest in seiner Position. Die Zustellbewegung wird jeweils bis zu einem je nach Werkstücklänge auf dem Grundgestell versetzbaren Endanschlag (siehe Typenumbau Abschnitt 3.6) ausgeführt. Der Aufprall auf den Endanschlag wird durch Stoßdämpferelemente gebremst.

Jede Fräseinheit besteht aus zwei geschweißten Stahlkonsolen, welche jeweils auf Bosch Rexroth Kugelschienenführungen der GR 25 durch einen Pneumatikzylinder Typ DNCB-80 die linearen Vorschubbewegungen beim Fräsvorgang durchführen. Ein ruckfreier Lauf dieser Bewegungen wird mit Ölbremsszylindern erreicht. Für die horizontale Bewegung ist ein Enidine Ölbremsszylinder ADA 740M und für die annähernd vertikale Bewegung ein Ölbremsszylinder ADA 725M vorgesehen. Beide haben jeweils eine max. Bremskraft von 11000N. Der Hub für die horizontale Vorschubbewegung beträgt 390mm, bei einer Geschwindigkeit von ca. 60mm/sec. Der Hub für die annähernd vertikale Bewegung beträgt 240mm, bei einer Geschwindigkeit von ebenfalls ca. 60mm/sec. Die Kugelschienenführungen besitzen jeweils vier Führungswagen, welche die auftretenden Momente bei der Bearbeitung aufnehmen müssen. Die Schnittkraft bei der Bearbeitung wurde in Abschnitt 2.4 mit 294N pro Fräseinheit ermittelt und tritt in einem Abstand von ca. 250mm zur Führungsmittle auf.

Die Auslegung der Kugelschienenführungen erfolgte auf dem Prinzip des Berechnungsbeispiels von den Seiten 30 – 32.

Die Bearbeitung selbst wird durch Stirnfräser D=50mm mit 5 Zähnen ausgeführt. Diese Fräser werden über Suhner-Bearbeitungsspindeln angetrieben.

Berechnungsansatz zur Auslegung dieser Bearbeitungsspindeln:
(Zerspanntechnik) S. 200 / S. 208

$$n = v_c / (d \times \pi)$$

$$P_{cm} = F_{cm} \times v_c$$

v_cSchnittgeschwindigkeit = gewählt 250m/min

dFräserdurchmesser = 50mm

F_{cm}Schnittkraft = 294N

$$n = 250\text{m/min} / (0,05\text{m} \times \pi) = \underline{1591,6\text{U/min}}$$

$$P_{cm} = 294\text{N} \times 250\text{m/min} = 73500\text{Nm/min} = 1225\text{Nm/s} = \underline{1225\text{W}}$$

Bei einer Schnittgeschwindigkeit von 250m/min wird pro Fräser eine Motorleistung von ca. 1,23KW benötigt.

Mit ausreichender Sicherheit wurde eine Suhner POWERmaster BEX 15 Bearbeitungsspindel gewählt, welche folgende Antriebsdaten aufweist:

-) Motor-Leistung 1,5KW / 2900U/min

-) Spindeldrehzahl 5655U/min

3.5 Späneschutz und Beseitigung:

Wie bei allen spanenden Fertigungen ist auch bei dieser Bearbeitungsstation mit Späneabfall und dadurch auftretender Verschmutzung der umliegenden Anlagenteile zu rechnen. Da es bereits bei der bestehenden Bearbeitungsstation im Betrieb zu sehr vielen Spänen kam, und die Reinigung bzw. Instandhaltung dieser sehr aufwendig und kompliziert war, sollte auf eine optimale Späneabfuhr geachtet werden. Weiters kam es bei der bestehenden Station dadurch auch öfters zu Beschädigungen bei div. Komponenten, wie z.B. bei den Führungen oder bei Pneumatikkomponenten.

Hier eine kleine Auflistung von einigen Vorkehrungen die diesbezüglich getroffen wurden:

1) Blechabdeckungen bei den Ausrichtgreifern:

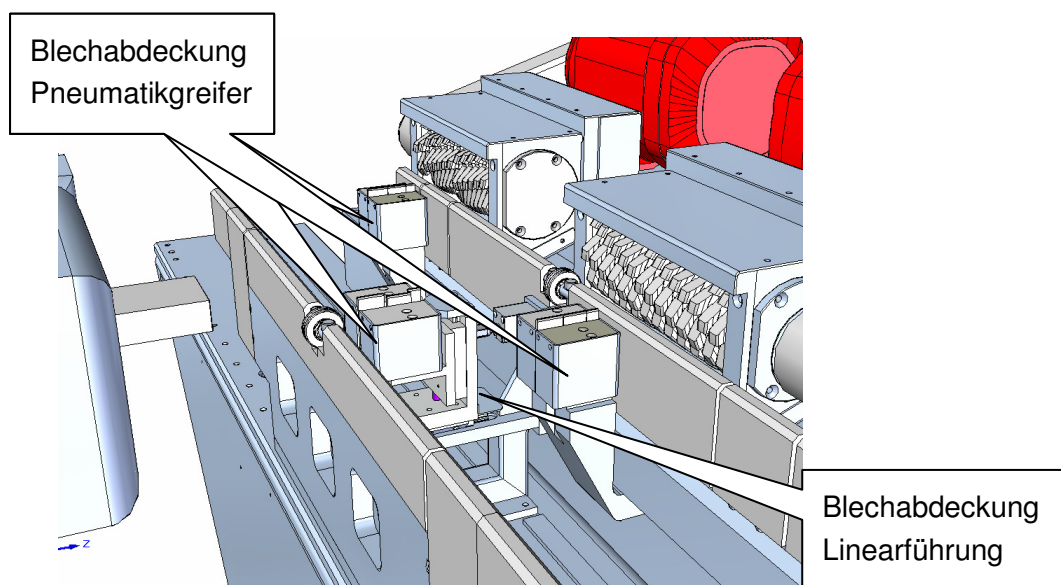


Abbildung 3-11: Blechabdeckung bei den Ausrichtgreifern

Die drei Pneumatikgreifer (einer zum Greifen des Werkstückes beim Ausrichten und zwei zum Ausrichten der Fräseinheiten) werden auf beiden Seiten mit U-förmigen Blechkästen, welche an den Greiferbacken mitverschraubt sind, abgedeckt. Da auch die Greiferbacken bereits so ausgeführt sind, dass die kpl. obere Fläche bedeckt ist, ist jeder Greifer im gespannten Zustand (also während der Bearbeitung) vollständig abgedeckt und kann somit durch mögliche Späne nicht mehr verschmutzt werden.

Auch die Linearführung für den Ausrichtzylinder in der Mitte wurde mit Blechen abgedeckt.

2) Blechabdeckungen an der vorderen Fräseinheit:

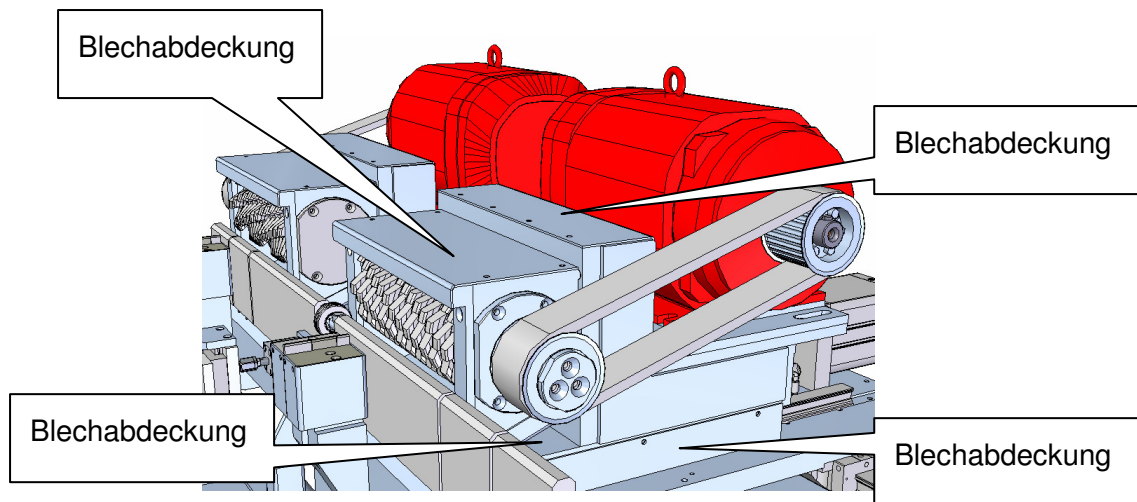


Abbildung 3-12: Blechabdeckungen an der vorderen Fräseinheit

Die vordere Fräseinheit wurde auf allen Seiten mit Blechverkleidungen versehen, sodass nur die Scheibenfräser selbst an der vorderen Seite frei sind. Alle anderen Komponenten sind innerhalb dieser Blechabdeckungen vor den umherfliegenden Spänen beim Fräsen abgeschirmt. Auch eine Blechabdeckung des Antriebsriemens ist vorgesehen und soll bei der Montage optimal an die Gegebenheiten angepasst werden.

3) Abdeckung der Feilenzentriereinheit:

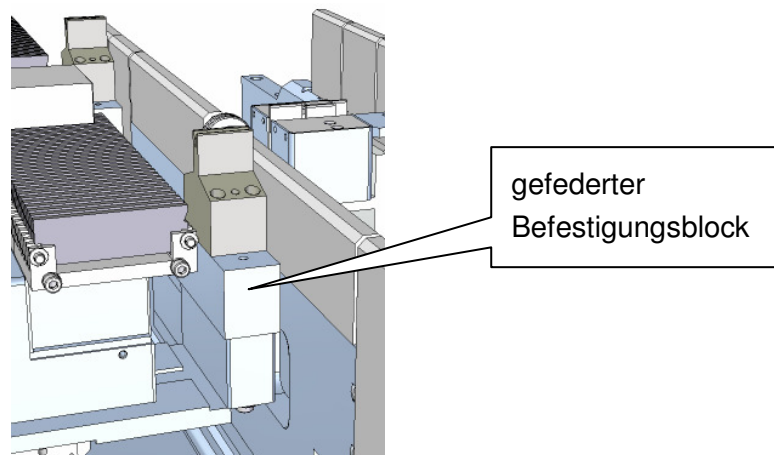


Abbildung 3-13: Abdeckung der Feilenzentriereinheit

Die beiden gefederten Feilenzentriereinheiten wurden konstruktiv so aufgebaut, dass alle gefährdeten Komponenten, wie z.B. die Federung und die Führung, geschützt im Inneren dieses Blockes sitzen.

4) Blechabdeckungen an der Feileinheit:

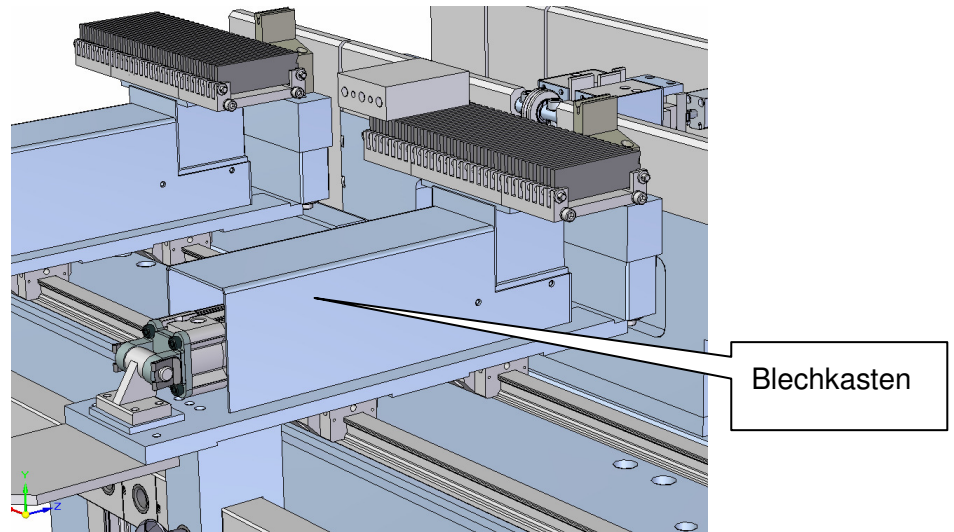


Abbildung 3-14: Blechabdeckung an der Feileinheit

Auch die Feileinheiten selbst wurden rundherum mit einem Blechkasten abgeschirmt, sodass die Kugelschienenführung und die Kolbenstange des Zylinders vollständig abgedeckt und dadurch optimal vor Spänen geschützt sind.

5) Abdeckung der Stirnfräser:

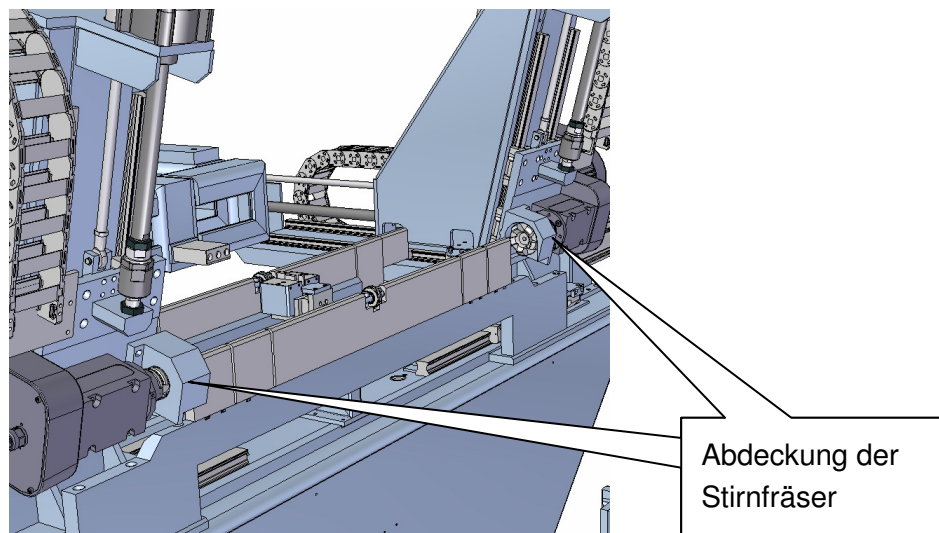


Abbildung 3-15: Abdeckung der Stirnfräser

Die beiden Stirnfräser wurden mit einem Stahlblock umhaust, sodass lediglich die vordere Seite und ein Schlitz nach unten offen sind, und damit eine gezielte Späneführung erreicht wird.

6) Schutz der Kugelschienenführungen:

Alle eingesetzten Kugelführungsschienen sind von unten verschraubbar ausgeführt, sodass die Oberseite nur aus einer ebenen geschliffenen Fläche besteht und keine Vertiefungen von möglichen Senkungen für Innensechskantschrauben aufweist. An diesen zylindrischen Senkungen würde sich trotz der dazugehörigen Abdeckkappen immer wieder der Schmutz sammeln und mit der Zeit die Führungswagen beschädigen, da dieser Schmutz von den Führungswagendichtungen nicht vollständig abgestreift werden kann.

Alle Kugelführungswagen sind mit speziellen Vorsatzdichtungen und Blechabstreifern versehen, damit so viel Schmutz wie möglich von den Führungsschienen abgestreift wird, und nichts davon ins Innere der Führungswagen gelangen kann. Diese sind besonders im Bereich der Kugelnketten sehr schmutzempfindlich und leicht zu beschädigen.

7) Späneabfuhr:

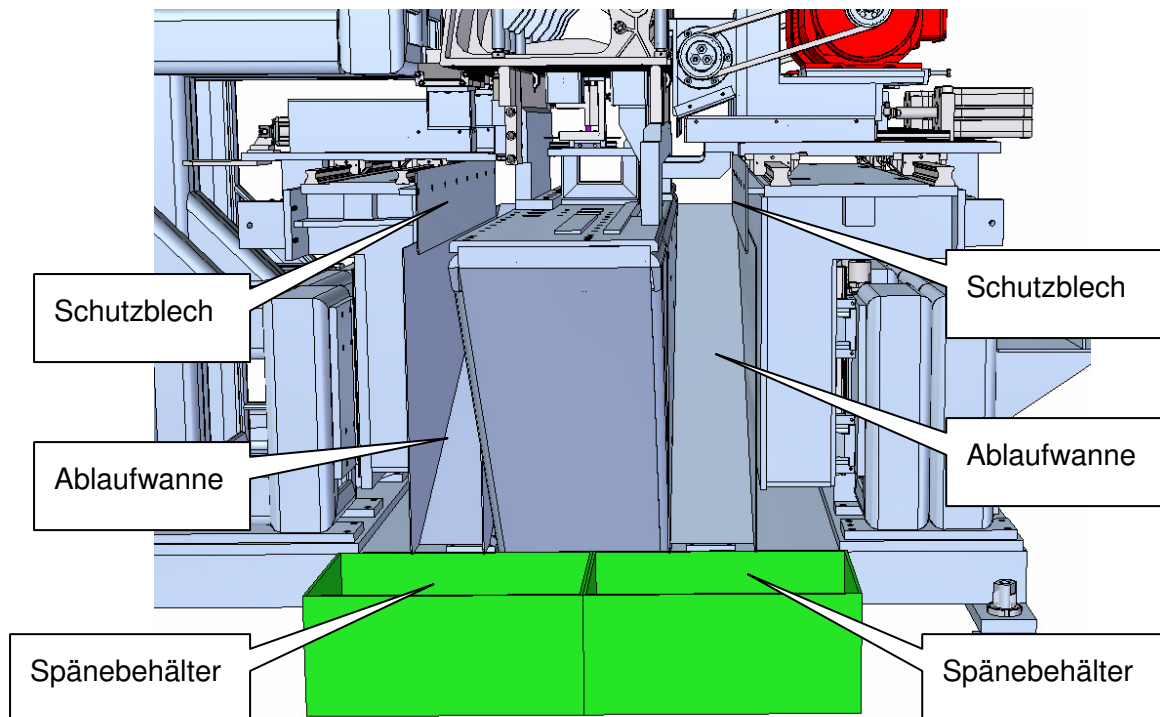


Abbildung 3-16: Späneabfuhr

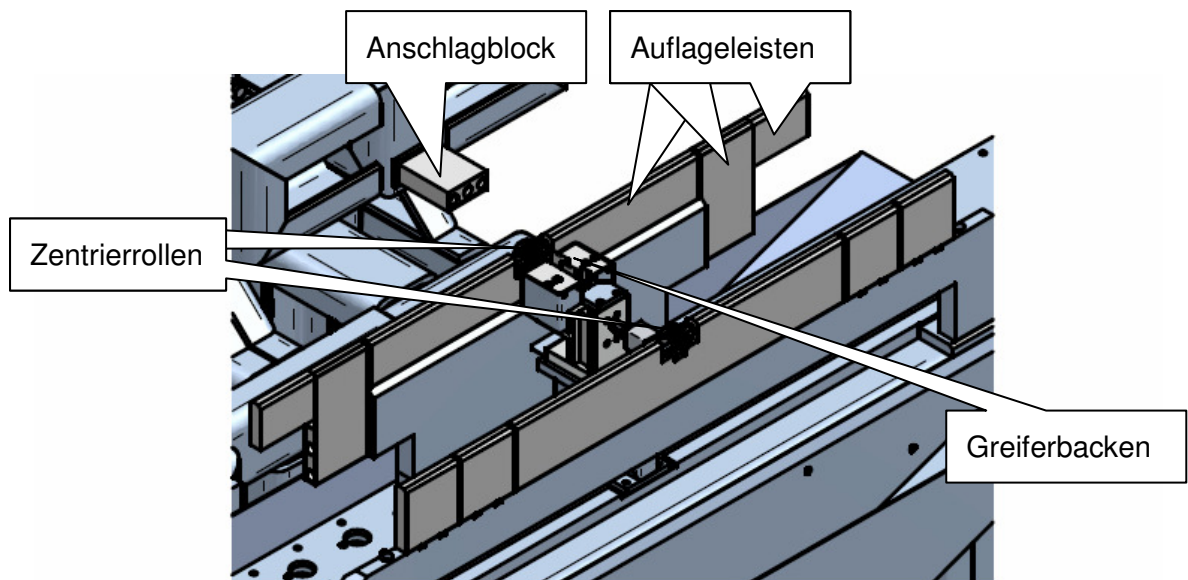
Links und rechts vom mittleren Aufbau des Grundgestells ist jeweils eine schräge Ablaufwanne angeordnet. An diesen rutscht durch die Schwerkraft ein Großteil der hineinfallenden Späne direkt in am Boden stehende Abfallbehälter. Alle in diesen Ablaufwannen liegenden Späne können aber auch ganz einfach abgekehrt werden. Diese Ablaufwannen sind zum Grundgestellmittelteil hin übergangslos angebaut, sodass auch der Schmutz, welcher an der Oberseite des mittleren Grundgestellaufbaus liegen bleibt, mit einfachen Mitteln direkt in diese Wannen abgekehrt werden kann. Nach außen zu den beiden Hubbalken hin wurden Schutzbleche montiert, die alle Kugelschienenführungen im Bereich der Hubbalken optimal vor den herunterfallenden Spänen schützen und diese wiederum in die Ablaufwannen leiten.

3.6 Bedienerfreundlicher Typenumbau:

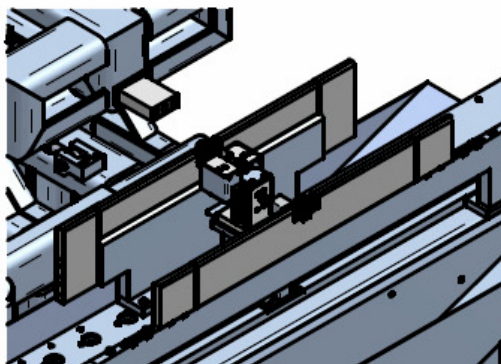
Bei den in der Bearbeitungsstation zu verarbeitenden Treppenstufen gibt es drei unterschiedliche Typen. Diese unterscheiden sich hauptsächlich in der Gesamtlänge. Es gibt Treppenstufen mit einer Länge von ca. 1000mm, ca. 800mm und ca. 600mm. Manche Anlagenteile müssen bei einem Typenwechsel verstellt bzw. umgebaut werden. Der Wunsch des Kunden bestand darin, diese Umbauarbeiten minimal zu halten und im Falle eines notwendigen Umbaus, diesen so bedienerfreundlich wie möglich zu gestalten. Als Zeitvorgabe wurde vom Kunden ein Gesamtzeitaufwand für alle Umbauarbeiten von max. 15min vorgeschrieben.

Hier eine Auflistung der einzelnen Anlagenteile und deren notwendigen Umbauarbeiten:

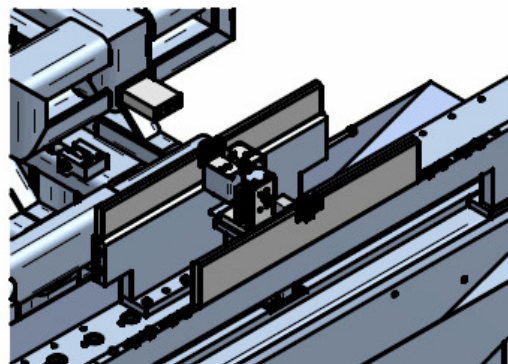
1) Aufnahme- und Auflageteile beim Einlegen der Treppenstufen:



Aufbau für Stufenlänge 1000mm



Aufbau für Stufenlänge 800mm



Aufbau für Stufenlänge 600mm

Abbildung 3-17: Umbau der Aufnahme- und Auflageteile

Bei den Zentrierrollen und dem Ausrichtgreifer sind keine Umbauarbeiten notwendig, da jeder Treppenstufentyp genau in der Anlagenmitte eingelegt wird und jede Treppenstufe an ihrer Unterseite genau in der Mitte einen identischen Steg zum Positionieren besitzt.

Ebenfalls bedarf es bei dem hinteren Anschlagblock keiner Umbauarbeiten, da dieser auch für alle Werkstücktypen gültig ist.

Einige Auflageleisten, an welchen das Werkstück nach dem Niederspannen aufliegt, müssen bei einer Typenumstellung montiert, bzw. demontiert werden. Das konnte nicht vermieden werden, da das Werkstück für eine optimale Ausrichtung beim Bearbeiten über die ganze Länge aufliegen muss und die Stirnfräseinheiten bei ihrer Bearbeitung die Stirnseiten am Anfang und am Ende der Stufe bearbeiten. Deshalb ist es notwendig bei den Werkstücklängen 800mm und 600mm Auflageleisten zu demontieren, da sie ansonsten mit den Stirnfräseinheiten kollidieren würden.

Die mittlere Auflageleiste (Länge 590mm) kann immer bestehen bleiben und bei einer Stufenlänge von über 600mm werden Teilstücke von je 100mm an beiden Seiten montiert.

Diese Auflageleistenstücke werden jeweils über drei Zylinderschrauben bzw. Sechskantschrauben am Grundgestell befestigt. Dabei wurde darauf geachtet, dass diese Befestigungsschrauben problemlos zugänglich sind, um den für einen Umbau notwendigen Aufwand zu minimieren. Um nach jedem Tausch eine genaue identische Position, bzw. Höhe zu erreichen, sind diese Auflageleisten mit jeweils zwei Aufnahmebolzen (1x runde und 1x abgeflachte Ausführung) ausgestattet. Diese Aufnahmebolzen werden passgenau in Bohrbuchsen am Grundgestell gesteckt.

Geschätzter Zeitaufwand für diesen Umbau (von Typ 600mm zu Typ 1000mm):

ca. 3,5min

2) Anbaukonsolen für die Spannelemente:

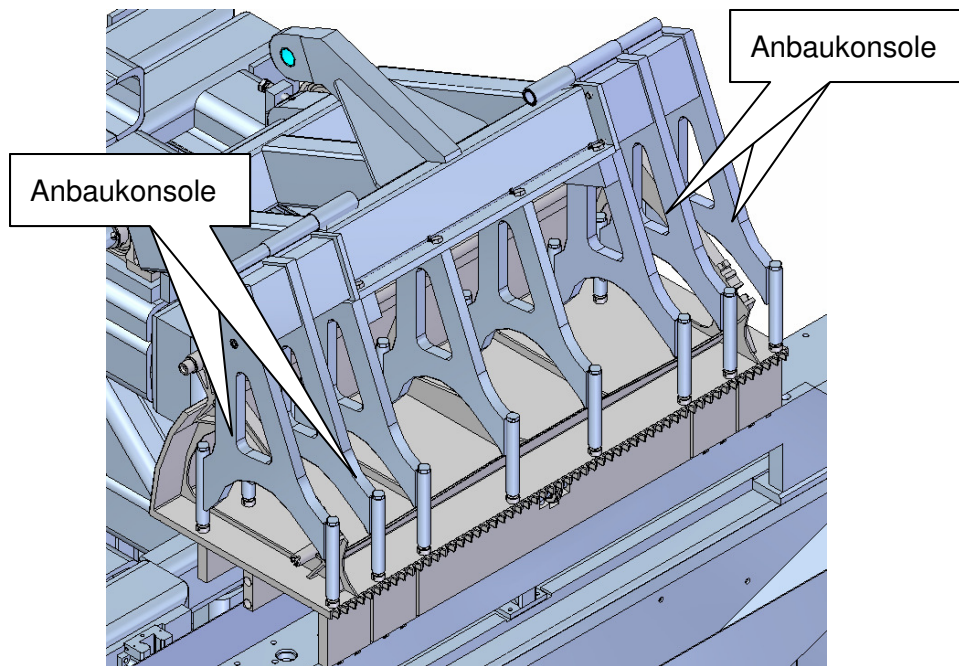


Abbildung 3-18: Anbaukonsolen für die Spannelemente

Die Treppenstufe muss verteilt über die gesamte Werkstücklänge niedergespannt werden. Bei der Bearbeitung einer Stufe kleiner als 1000mm Länge würden die äußeren Spannelemente mit den seitlichen Stirnfräseereinheiten kollidieren. Dazu werden hier 100mm lange Anbaukonsolen mit jeweils zwei Spannelementen montiert bzw. demontiert. Bei einer Werkstücklänge von 600mm besteht die Einschwenkkonsole nur aus den acht fix montierten Spannelementen. Für die Werkstücklänge von 800mm wird jeweils auf beiden Seiten eine Anbaukonsole mit zwei Spannelementen montiert und für die Werkstücklänge von 1000mm auf beiden Seiten zwei dieser Anbaukonsolen.

Diese Konsolen werden mit Hilfe von Aufnahmebolzen auf den bestehenden Teil aufgesteckt und dort über gut zugängliche Zylinderschrauben befestigt. Pro Konsole werden vier Zylinderschrauben verwendet.

Geschätzter Zeitaufwand für diesen Umbau (von Typ 600mm zu Typ 1000mm):

ca. 3min

3) Vordere Fräseinheit:

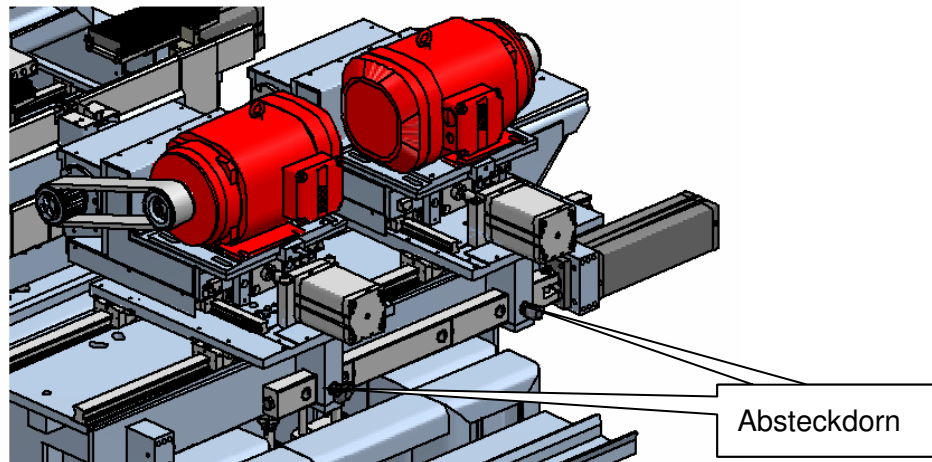


Abbildung 3-19: Umbau vordere Fräseinheit

Bei den beiden Fräseinheiten selbst sind keine Umbauarbeiten notwendig, da die vordere Kontur (die Rillenkontur) der Werkstücke immer gleich bleibt.

Es werden lediglich die kpl. Fräseinheiten von Hand an die für den zu bearbeitenden Werkstücktyp richtige Stelle verschoben und dort arretiert. An der Absteckleiste, an welcher der Zylinder für die 250mm Versetzbewegung der Einheiten befestigt ist, befinden sich für jede Treppenstufenlänge zwei beschriftete Aufnahmebohrungen, die mit Bohrbuchsen versehen sind. Je nach dem zu bearbeitenden Werkstück werden die beiden Absteckdorne herausgezogen, die Fräseinheiten auf den Linearführungen an die richtigen Positionen geschoben, und dort wieder abgesteckt. Die Aufnahmebohrbuchsen sind im Durchmesser 1mm größer als der Absteckdorn, da diese Positionierung nur eine Vorpositionierung der Fräseinheiten bezwecken soll. Die genaue Ausrichtung erfolgt dann durch die beiden Parallelgreifer, welche die Fräseinheiten schlussendlich genau zur Rille an der Stufenunterseite ausrichten. Die Lage der Aufnahmebohrungen in der Absteckleiste sind genau so definiert, damit alle Stufentypen mit einem einmaligen 250mm Versetzzvorgang der beiden Fräseinheiten vollständig bearbeitet werden können. Dabei wurde auch berücksichtigt, dass keine der beiden Fräseinheiten an einer Seite übermäßig weit über das Ende der Stufe übersteht, und somit mit anderen Anlagenkomponenten kollidieren könnte.

Geschätzter Zeitaufwand für diesen Umbau (von Typ 600mm zu Typ 1000mm):

ca. 0,5min

4) Feileinheit:

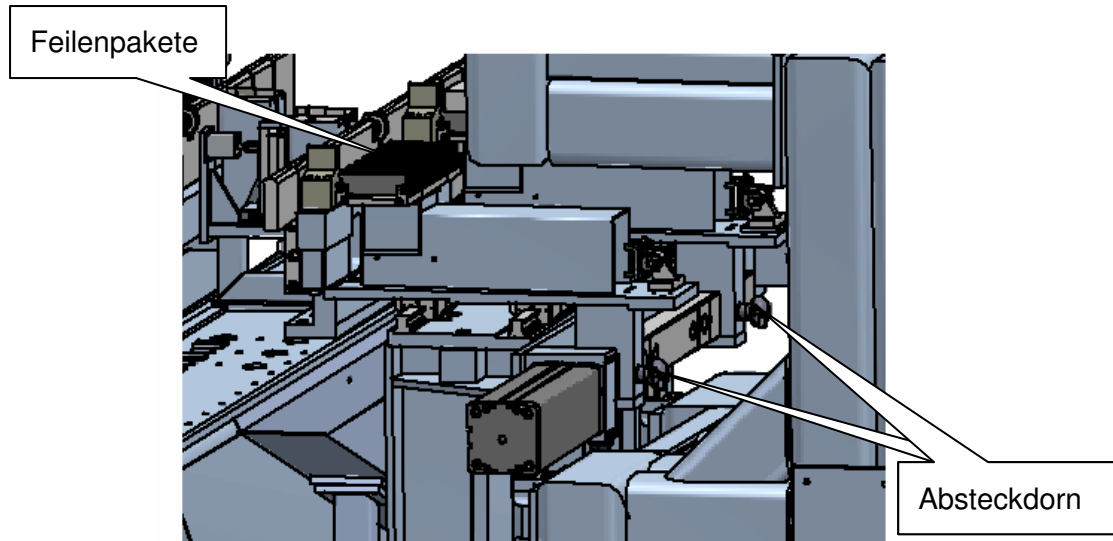


Abbildung 3-20: Umbau Feileinheit

Hier müssen die beiden Feileinheiten, wie bei der vorderen Fräseinheit, an eine markierte Position verschoben und dort abgesteckt werden. Der Aufbau dieser Absteckung mit den Absteckdornen und der Absteckleiste ist identisch mit dem an der Vorderseite.

Jedoch müssen gegebenenfalls auch die Feilenpakete selbst ausgetauscht werden. Wie bereits in Abschnitt 2.4 aufgelistet, gibt es für die Werkstücklänge 600mm ein anderes Feilenpaket als für Werkstücklänge 1000mm und 800mm. Das Feilenpaket für die Länge 600mm ist kürzer (also mit weniger Feilen ausgerüstet), da das lange Feilenpaket bei der Bearbeitung der kurzen Stufe mit einigen Feilen über die Werkstücklänge hinausragt und dadurch eine dieser Feilen die Stirnseite der Treppenstufe beschädigen würde.

Jedes Feilenpaket ist vorab schon mit den Feilen ausgerüstet und getauscht wird das kpl. Paket. Ein kpl. Feilenpaket wird mittels rundem und abgeflachtem Aufnahmebolzen auf der Feileneinheit positioniert und über vier Zylinderschrauben befestigt.

Geschätzter Zeitaufwand für diesen Umbau (von Typ 600mm zu Typ 1000mm):

ca. 3min

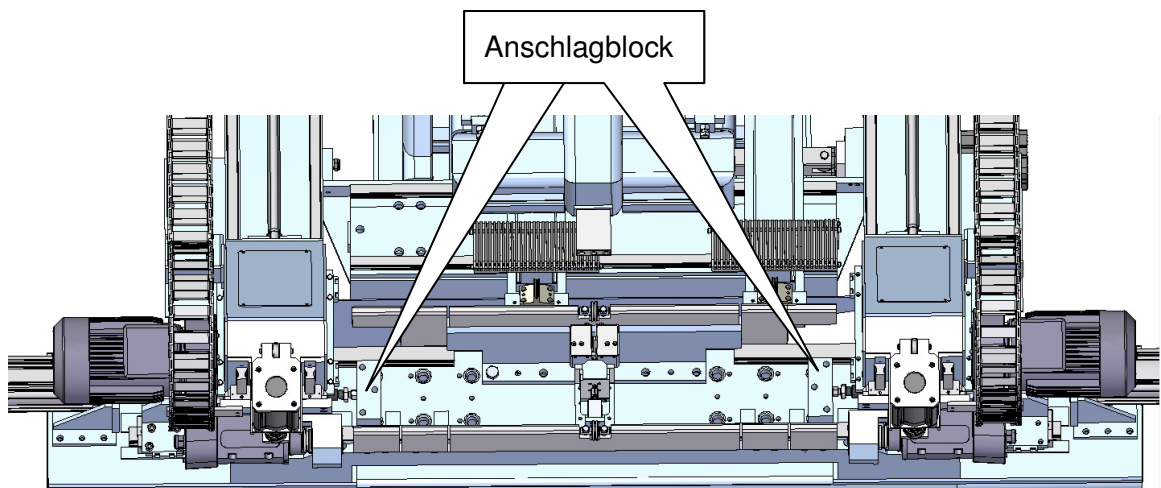
5) seidl. Fräseinheiten:

Abbildung 3-21: Umbau seidl. Fräseinheiten

Bei den seitlichen Fräseinheiten müssen für die Typenumstellung die beiden Anschlagblöcke versetzt werden. Diese Blöcke begrenzen die Verfahrbewegung der Zustellzylinder für die seidl. Fräseinheiten. In der äußersten Position (wie in Abbildung 3-21 dargestellt) ist die Anlage für eine Werkstücklänge 1000mm eingestellt und für die Längen 800mm und 600mm werden die Blöcke dann jeweils um 100mm weiter zur Mitte hereinversetzt.

Das geschieht mit Hilfe von jeweils zwei Aufnahmebolzen und die Befestigung erfolgt mit je drei Sechskantschrauben, welche von der Anlagenoberseite sehr gut zugänglich sind. Es werden für jeden Werkstücktyp eigene Anschlagblöcke bereitgestellt, weil jeder dieser Blöcke einmalig auf ein ideales Längenmaß eingestellt ist. Die weiter innen liegenden Anschlagblöcke können immer montiert bleiben, und somit muss bei einem Typenwechsel nur der Aufwand für die Demontage oder Montage der Blöcke aufgebracht werden.

Ansonsten muss an der seidl. Fräseinheit selbst nichts verstellt werden, da die zu fräsende Kontur an der Stufenstirnseite bei allen Typen unverändert bleibt.

Geschätzter Zeitaufwand für diesen Umbau (von Typ 600mm zu Typ 1000mm):

ca. 1,5min

geschätzter Gesamtaufwand für alle Umbauarbeiten: 11,5min

Somit wurde, wenn alle Vorbereitungen für die Umbauarbeiten vorab getroffen wurden, der geforderte Gesamtaufwand von 15min um ca. 3-4min unterschritten.

Ebenfalls wurde die Zugänglichkeit zu den notwendigen Befestigungselementen an den Tauschteilen gewährleistet.

3.7 Verschleiß- und Ersatzteile:

Verschleißteile:

Definition Verschleiß nach DIN 50320 (Norm wurde 1997 zurückgezogen):

Verschleiß ist der fortschreitende Materialverlust aus der Oberfläche eines festen Körpers (Grundkörper), hervorgerufen durch mechanische Ursachen, d.h. Kontakt- und Relativbewegung eines festen, flüssigen oder gasförmigen Gegenkörpers.

Als Verschleißteile werden alle Teile deklariert, bei welchen man im Betrieb damit rechnen muss, dass sie einen möglichen Verschleiß aufweisen könnten und für die optimale Funktion der Anlage gegebenenfalls getauscht werden müssen. Dazu zählen Aufnahme- bzw. Anschlagteile, und es wurde insbesondere darauf geachtet, dass diese wenn notwendig ohne größeren Aufwand auswechselbar sind. Obwohl die meisten Anschlagteile gehärtet ausgeführt wurden und ein merkbares Verschleißern ziemlich unwahrscheinlich ist, gehören diese bezüglich der DIN-Definition zu den Verschleißteilen.

Eine kurze Übersicht der Verschleißteile und deren Tauschbarkeit:

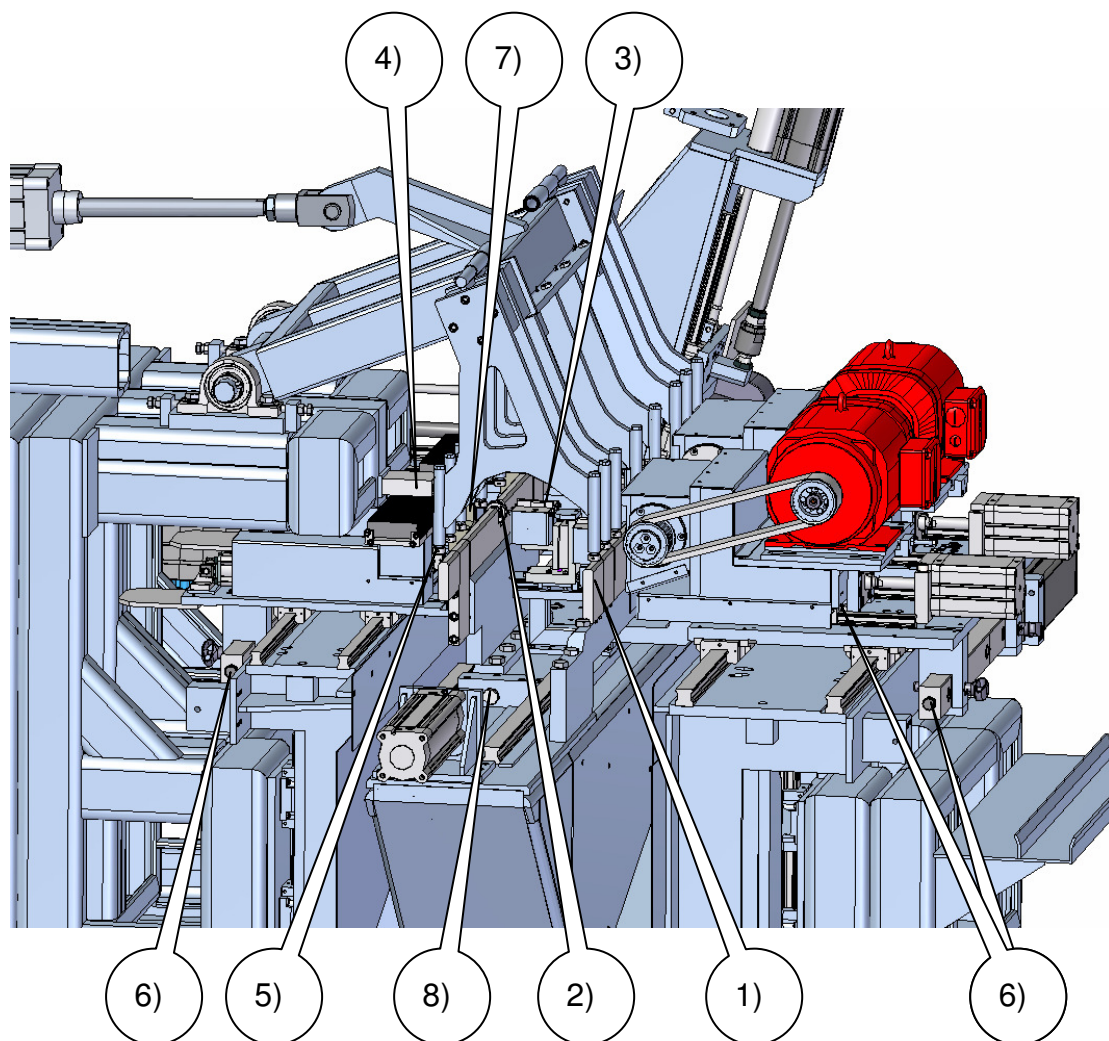


Abbildung 3-22: Verschleißteile

1) Auflageleisten:

Diese aus mehreren Teilen bestehenden Auflageleisten dienen als Auflagefläche für das Werkstück, besitzen jeweils zwei Aufnahmebolzen oder Zylinderstifte zum Positionieren und sind über Sechskant- bzw. Zylinderschrauben mit dem Grundaufbau verschraubt. Die Befestigungselemente sind gut zugänglich, sodass für einen Tausch einer Auflageleiste keine weiteren Bauteile an der Anlage entfernt werden müssen. Lediglich auf den mittleren Auflageleisten sind die Zentrierrollen montiert, welche dann umgebaut werden müssen.

2) Zentrierrollen:

Die Zentrierrollen befinden sich gelagert auf einer Achse, welche mittels zwei gefederten Passschrauben auf den Auflageleisten montiert ist. Bei einem möglichen Abbau der Rollen können diese beiden Passschrauben inkl. der Federung auf einfache Weise demontiert und anschließend wieder lagegerecht montiert werden. Die gelagerten Rollen sind auf der Achse aufgesteckt und über einen Sicherungsring axial gesichert. Nach Entfernen des Sicherungsringes können diese dann gemeinsam mit den Kugellagern abgezogen werden. Nur beim Entfernen der beiden Rillenkugellager, welche mit einem Passsitz in den Rollen eingebaut sind, ist ein Beschädigen der Lager nicht auszuschließen. Aus diesem Grund wäre es sinnvoll beim Tauschen der Rollen die neuen Rollen auch mit neuen Lagern zu versehen und diese dann gemeinsam zu wechseln.

3) Greiferbacken:

Die einzelnen Greiferbacken, welche auf den Parallelgreifern montiert sind, können von der Oberseite über jeweils zwei Zylinderschrauben von den Greifern demontiert werden. Der Parallelgreifer besitzt auch zwei Zentrierhülsen, an welchen die Greiferbacken über Passbohrungen wieder positionsgetreu aufgesteckt werden können.

4) Anschlagblock:

Der hintere Anschlagblock, welcher als Anschlagfläche für das Werkstück dient, kann über drei zugängliche Zylinderschrauben vom Grundgestell demontiert werden. Die genaue Position ist wiederum über zwei Zylinderstifte gegeben.

5) Druckstücke der gefederten Spannelemente:

Diese runden Druckstücke, welche die Berührungsfläche beim Niederspannen der Treppenstufen bilden, sind auf den gefederten Bolzen der Spannelemente aufgeschraubt und über einen Spannstift gesichert. Nach Herausschlagen des Spannstiftes können die Druckstücke vom Bolzen abgeschraubt werden.

6) Anschlagsschrauben und -bolzen:

Die div. Anschlagsschrauben und -bolzen, welche an der Anlage als Hubbegrenzungen für Vorschubbewegungen dienen, sind über eine Sechskantfläche an ihrer Außenkontur von ihren Anbauteilen abzuschrauben. Die Feineinstellung dieser Anschlagelemente wurde über beigelegte Passscheiben verwirklicht, welche bei einem Tauschen dieser Elemente wieder berücksichtigt werden müssen. Auch die Zugänglichkeit zum Ausbauen dieser Anschlagelemente ist gewährleistet.

7) Zentrierblock:

Auch dieser Zentrierblock, welcher zum Einzentrieren der Feileinheiten dient, kann zugänglich von der Oberseite mit Zylinderschrauben von seinem Unterteil demontiert werden. Für die lagegerechte Montage des neuen Teils dienen wiederum zwei Zylinderstifte.

8) Anschlagelemente an den versetzbaren Anschlagblöcken:

Diese als Anschlagsschrauben ausgeführten Elemente werden mit Hilfe einer Schlüsselweite an ihrer Außenkontur von den einzelnen Blöcken heruntergeschraubt. Dafür ist es nur notwendig die Blöcke zuvor vom Grundgestell abzuschrauben, da ein Entfernen der Anschlagsschrauben ansonsten nicht möglich ist. Bei Einbau neuer Anschlagsschrauben muss darauf geachtet werden, dass die Feineinstellung des Anschlages über die Einschraubtiefe dieser Elemente neu erfolgen muss. Fixiert werden diese Anschlagsschrauben über Kontermuttern.

Ersatzteile:

Definition Ersatzteile nach DIN 24420: „*Einzelteile, Baugruppen oder vollständige Erzeugnisse, die dazu bestimmt sind, beschädigte, verschlissene oder fehlende Einzelteile, Baugruppen oder Erzeugnisse zu ersetzen.*“

Darunter fallen z.B. Zukaufteile, welche bei einem möglichen Defekt mit ihrer Bezeichnung bzw. Artikelnummer von einem bestimmten Hersteller nachbestellt und ausgetauscht werden können. Einige dieser Ersatzteile, wie z.B. die Kugelschienenführungen, bestimmte Kugellager und Antriebe müssen auch regelmäßig gewartet (z.B. Schmierung) werden. Diese Wartungsvorschriften und -pläne sind herstellerseitig festgelegt und müssen eingehalten werden.

Einige Beispiele für Ersatzteile in dieser Anlage wären:

-) die versch. Bosch-Rexroth Kugelschienenführungen:

Bei den Führungswagen ist es von großer Wichtigkeit, dass die vorgeschriebenen Schmierintervalle nicht überschritten werden. Hierzu wurden alle Führungswagen mit zugänglichen Kegelschmiernippeln ausgerüstet und diese Schmierstellen werden auch an der Anlage eindeutig und ersichtlich gekennzeichnet.

-) die versch. Festo-Pneumatikkomponenten:

Alle eingesetzten Pneumatikkomponenten, wie z.B. Ventile, Zylinder, Verschraubungen, usw., sind genormte Standardbauteile und können anhand ihrer Bezeichnung bestellt und ausgetauscht werden.

-) die versch. eingesetzten Kugellager:

Auch alle Kugellager sind SKF-Standardkomponenten und 1:1 auswechselbar.

-) die Antriebe für die Fräser:

Die verwendeten SEW-Motore und die Suhner-Bearbeitungsspindeln sind mit ihrer zugehörigen Seriennummer eindeutig definiert und somit im Falle eines Defektes austauschbar.

-) der Antriebsriemen für die Fräser:

Der Zahnriemen für die Antriebswelle der Fräser besitzt eine genormte Bezeichnung und kann mit dieser von einem beliebigen Hersteller nachbestellt werden.

-) die Fräser und Feilen:

Auch die einzelnen Fräser und Feilen gehören zu den Ersatzteilen, da auch diese mit ihrer zu der Zeichnung zugehörigen Artikelnummer von ihrer Herstellerfirma einzeln nachbestellt werden können. Bei einem Austausch von einzelnen Scheibenfräsern ist aber darauf zu achten, dass der Fräser mit dem richtigen Versatz der Passfedernut ausgestattet ist. (siehe Abschnitt 3.1.1 auf Seite 39)

-) div. weitere Normteile: wie z.B. Druckfedern, Aufnahmebolzen, Absteckdorne,

4 Gesamtkonzept der neuen Anlage:

4.1 Taktzeit:


Die Taktzeit der neuen Anlage sollte die Roboterzeit des Industrieroboters nicht überschreiten. Wie bereits in Abschnitt 1.3 ermittelt, wird die neue Roboterzeit ca. 76 Sekunden betragen. Bei dieser Zeit wurde bereits das Entgraten der Stirnseiten, welches nun in der neuen Bearbeitungsstation verwirklicht wird, abgezogen. Jedoch muss man noch zusätzlich ca. 6 Sekunden zu der Roboterzeit addieren, welche er nun für das Entnehmen der Treppenstufen von der Fördereinrichtung und das Einlegen in die Bearbeitungsstation benötigt.

Also kann man insgesamt von einer Roboterzeit mit ca. 82 Sekunden ausgehen.

Für die Berechnung der Verfahrszeit eines Pneumatikzylinders wurde folgendes Prinzip angewendet:

Berechnung mittels Festo-Auslegungssoftware GSED Vers. 3.0.0.26 am Beispiel eines doppelwirkenden Kompaktzylinders ADN-100-50-A-P-A für die vertikale Hubbewegung des Hubbalkens mit den vorderen Fräseinheiten:

Die Systemparameter - Grundlage für die Auswahl Weiter >



erwartete Positionierzeit ich möchte diese Positionierzeit erreichen: s

Grundeinstellungen Zylinder ☒ mit Drosselrückschlagventil

Verfahrsweg mm

Einbauwinkel deg

Bewegungsrichtung ☒ ausfahren ☐ einfahren

Druckluftversorgung Betriebsdruck bar

Schlauchlänge Wartungsgerät > Ventil m

 Ventil > Zylinder m

Belastungseinstellungen Bewegte Masse ☒ kg

zusätzliche Stoßkraft N

zusätzliche Reibkraft N

Abbildung 4-1: Berechnung Pneumatikzylinderbewegung Bild 1

Annahme Positionierzeit: ca. 2sec

Hub: 50mm

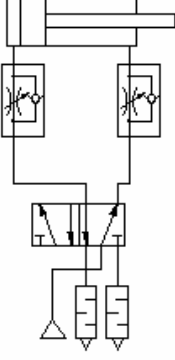
Betriebsdruck: 6bar

Annahme Schlauchlänge Wartungsgerät – Ventil: ca. 750mm

Annahme Schlauchlänge Ventil – Zylinder: ca. 3000mm

Hälfte des Gesamtgewichts des Hubbalkens: ca. 300kg

Auswahl der Komponenten Simulieren des Systems



Durchfluss
7 Umdrehungen
geöffnet

Klicken Sie auf den Typ-Code oder das Symbol der Komponente, die Sie auswählen/ändern wollen

Antrieb	ADN-100-50-A-P-A
<input type="checkbox"/> Stoßdämpfer	
Drosselrückschlagventil	GRLA-1/8-QS-8-D
Schlauch [Zyl. > Ventil]	PUN-8x1,25-BL (3 m)
Wegeventil	CPE14-M1BH-5J-1/8
Schlauch [Quelle > Ventil]	PUN-8x1,25-BL (0.75 m)
Schalldämpfer	U -1/8

Betriebsdruck

Bewegungsrichtung ☒ ausfahren ☐ einfahren

Abbildung 4-2: Berechnung Pneumatikzylinderbewegung Bild 2

Gewählter Schlauch-Ø : 8mm

Annahme Drosselrückschlagventile: 7 von 11 Umdrehungen geöffnet

Annahme Wegeventil: 5/2 Wege-Einzelventil CPE 14 mit beidseitiger Ansteuerung (jedoch späterer Einsatz einer gemeinsamen Ventilinsel für alle Pneumatikbewegungen)

GSED Ergebnis der Simulation

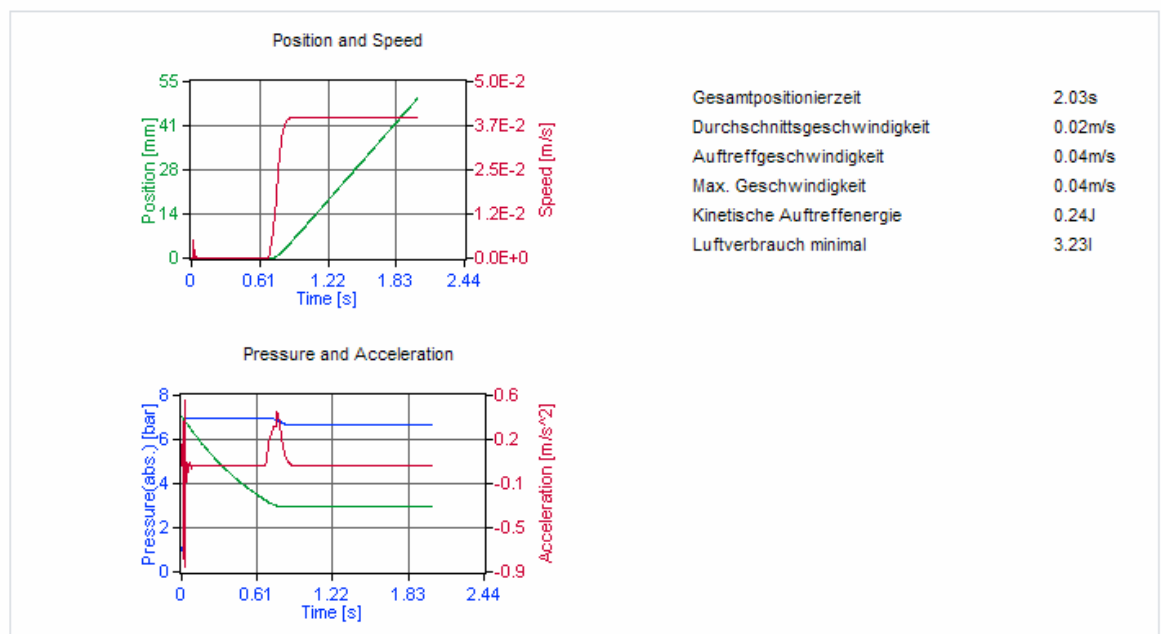
[Drucken](#)
[< Zurück](#)
[Weiter >](#)


Abbildung 4-3: Berechnung Pneumatikzylinderbewegung Bild 3

Durch Anwendung dieser Auslegungssoftware wurde eine theoretische Gesamtpositionerzeit für diesen Zylinder von 2,03 sec berechnet. Durch die Annahme, dass das Drosselrückschlagventil 7 von 11 Umdrehungen geöffnet ist, besitzt diese Bewegung noch einiges an Zeitpotenzial in beide Richtungen und kann gegebenenfalls noch angepasst werden.

Auch für die Berechnung aller anderen Pneumatikzylinderhübe wurde dieser Auslegungsgrundsatz angewendet.

Nun eine kurze Zeitanalyse der einzelnen Ablaufschritte in der neuen Bearbeitungsstation:

1) Ausrichten und Spannen der Treppenstufen:

Zum Ausrichten und Spannen der Treppenstufen zählt:

- a) Greifen der Treppenstufe mittels Pneumatikgreifer
- b) Schieben der Treppenstufe gegen den hinteren Anschlag
- c) Einschwenken der oberen Spannelemente und Spannen der Treppenstufe

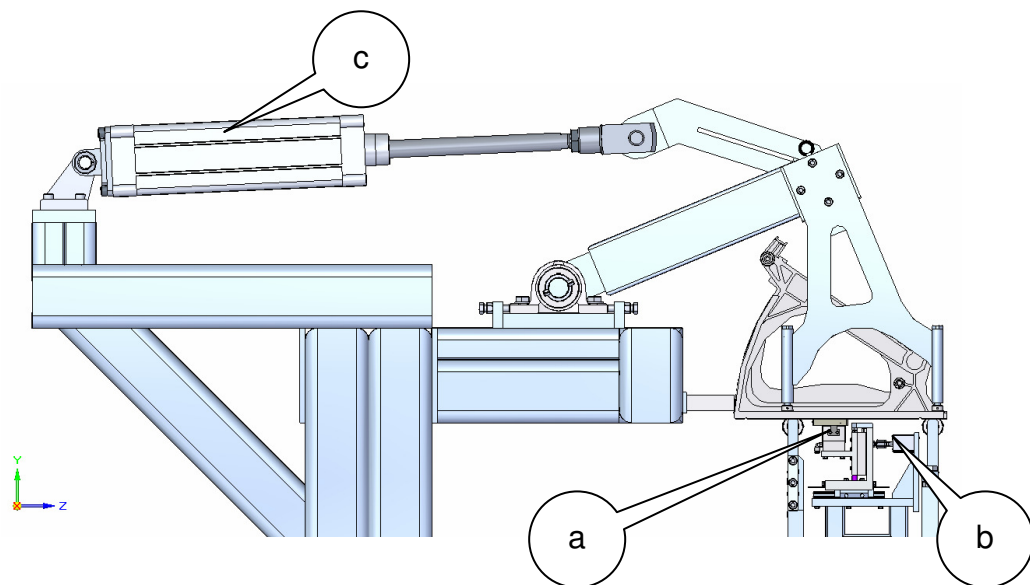


Abbildung 4-4: Ablauf Ausrichten und Spannen

Hierfür werden folgende Zeiten angenommen:

Schritt	Beschreibung	Zeit in sec
a	Gedrosselte 2mm Hubbewegung des Festo-Pneumatikgreifers HGPT-35-A-B-F	0,2
b	Gedrosselte 5mm Hubbewegung des Festo-Kompaktzylinders ADVC-16-10-A-P-A	0,3
c	Gedrosselte 320mm Hubbewegung des Festo-Normzylinders DNC-125-320-PPV-A	5
Gesamt		5,5

Tabelle 4-1: Taktzeiten Ausrichten und Spannen

Alle Pneumatikbewegungen werden für einen ruhigen Ablauf als gedrosselt angenommen und können gegebenenfalls hinsichtlich der Zeit noch optimiert werden.

2) Bearbeitung der Rillen an der Vorderseite:

Zum Bearbeiten der Rillen an der Vorderseite zählt:

- a) Hochfahren der Fräseinheiten
- b) Ausrichten der Schlitten
- c) Klemmen der Schlitten
- d) Lösen der Greifer zum Ausrichten
- e) Einschalten der Antriebe für die Fräser
- f) Zustellen der Fräseinheiten
- g) Absenken der Fräseinheiten (eigentlicher Fräsvorgang)
- h) Zurückfahren der Fräseinheiten
- i) Lösen der Schlittenklemmung
- j) Versetzen der Fräseinheiten
- k) Hochfahren der Fräseinheiten
- l) Ausrichten der Schlitten
- m) Klemmen der Schlitten
- n) Lösen der Greifer zum Ausrichten
- o) Zustellen der Fräseinheiten
- p) Absenken der Fräseinheiten (eigentlicher Fräsvorgang)
- q) Zurückfahren der Fräseinheiten
- r) Zurückversetzen der Fräseinheiten
- s) Abschalten der Antriebe / Lösen der Schlittenklemmungen

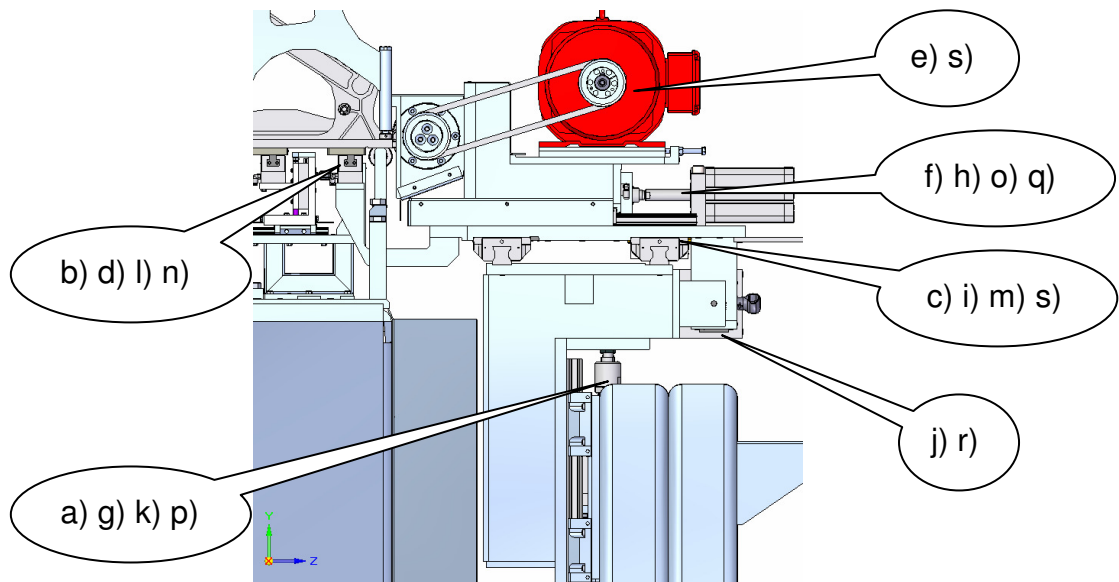


Abbildung 4-5: Ablauf Bearbeitung Rillen an der Vorderseite

Hierfür werden folgende Zeiten angenommen:

Schritt	Beschreibung	Zeit in sec
a	Gedrosselte 50mm Hubbewegung der Festo-Kompaktzylinder ADN-100-50-A-P-A	2
b	Gedrosselte 2mm Hubbewegung der Festo-Pneumatikgreifer HGPT-35-A-B-F	0,2
c	Klemmen der pneum. Zimmer-Klemmelemente MKS 3501 A	0,1
d	Gedrosselte 2mm Hubbewegung der Festo-Pneumatikgreifer HGPT-35-A-B-F	0,2
e	Anlaufzeit der SEW-Drehstrommotoren DRS112M6/Fl	0,5
f	Gedrosselte 100mm Hubbewegung der Festo-Kompaktzylinder ADN-80-100-A-P-A	3
g	Gedrosselte und gebremste 50mm Hubbewegung der Festo-Kompaktzylinder ADN-100-50-A-P-A	5
h	Gedrosselte 100mm Hubbewegung der Festo-Kompaktzylinder ADN-80-100-A-P-A	1
i	Lösen der pneum. Zimmer-Klemmelemente MKS 3501 A	0,1
j	Gedrosselte 250mm Hubbewegung des Festo-Kompaktzylinders ADN-80-270-A-P-A	4
k	Gedrosselte 50mm Hubbewegung der Festo-Kompaktzylinder ADN-100-50-A-P-A	2
l	Gedrosselte 2mm Hubbewegung der Festo-Pneumatikgreifer HGPT-35-A-B-F	0,2
m	Klemmen der pneum. Zimmer-Klemmelemente MKS 3501 A	0,1
n	Gedrosselte 2mm Hubbewegung der Festo-Pneumatikgreifer HGPT-35-A-B-F	0,2
o	Gedrosselte 100mm Hubbewegung der Festo-Kompaktzylinder ADN-80-100-A-P-A	3
p	Gedrosselte und gebremste 50mm Hubbewegung der Festo-Kompaktzylinder ADN-100-50-A-P-A	5
q	Gedrosselte 100mm Hubbewegung der Festo-Kompaktzylinder ADN-80-100-A-P-A	1
r	Gedrosselte 250mm Hubbewegung des Festo-Kompaktzylinders ADN-80-270-A-P-A	3
Gesamt		30,5

Tabelle 4-2: Taktzeiten Bearbeitung Rillen an der Vorderseite

Zu s):

Das Abschalten der SEW-Drehstrommotoren DRS112M6/FI und Lösen der pneumatischen Zimmer-Klemmelemente MKS 3501 A geschieht während Punkt r) und kostet keine zusätzliche Zeit.

Alle Pneumatikbewegungen werden für einen ruhigen Ablauf als gedrosselt angenommen und können gegebenenfalls hinsichtlich der Zeit noch optimiert werden.

3) Bearbeitung der Rillen an der Unterseite:

Zum Bearbeiten der Rillen an der Unterseite zählt:

- a) Hochfahren und Einzentrieren der Feileinheiten
- b) Feilen der Rillen
- c) Absenken der Feileinheiten
- d) Versetzen der Feileinheiten
- e) Hochfahren und Einzentrieren der Feileinheiten
- f) Feilen der Rillen
- g) Absenken der Feileinheiten
- h) Zurückversetzen der Feileinheiten

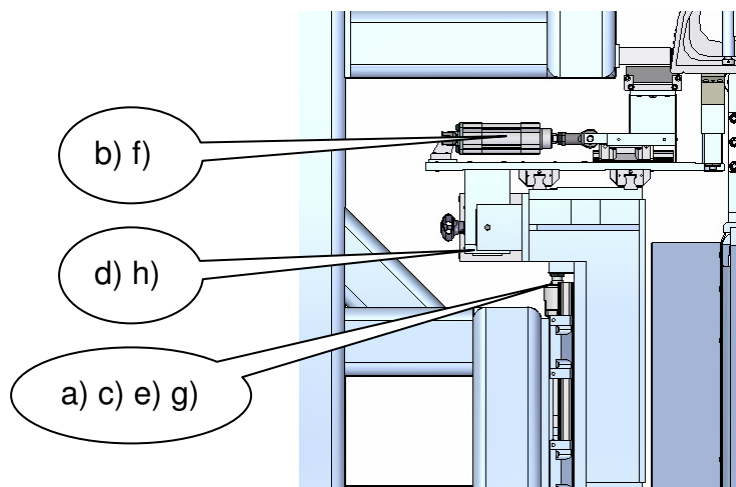


Abbildung 4-6: Ablauf Bearbeitung Rillen an der Unterseite

Hierfür werden folgende Zeiten angenommen:

Schritt	Beschreibung	Zeit in sec
a	Gedrosselte 50mm Hubbewegung des Festo-Kompaktzylinders ADN-100-50-A-P-A	2
b	Gedrosselte 30mm Aus- und Einfahrbewegung der Festo-Pneumatikzylinder DNCB-40-30-PPV-A-B	0,5
c	Gedrosselte 50mm Hubbewegung des Festo-Kompaktzylinders ADN-100-50-A-P-A	1
d	Gedrosselte 250mm Hubbewegung des Festo-Kompaktzylinders ADN-80-270-A-P-A	3
e	Gedrosselte 50mm Hubbewegung des Festo-Kompaktzylinders ADN-100-50-A-P-A	2
f	Gedrosselte 30mm Aus- und Einfahrbewegung der Festo-Pneumatikzylinder DNCB-40-30-PPV-A-B	0,5
g	Gedrosselte 50mm Hubbewegung des Festo-Kompaktzylinders ADN-100-50-A-P-A	1
h	Gedrosselte 250mm Hubbewegung des Festo-Kompaktzylinders ADN-80-270-A-P-A	3
Gesamt		13

Tabelle 4-3: Taktzeiten Bearbeitung Rillen an der Unterseite

Alle Pneumatikbewegungen werden für einen ruhigen Ablauf als gedrosselt angenommen und können gegebenenfalls hinsichtlich der Zeit noch optimiert werden.

4) Bearbeitung der Stirnseiten:

Zum Bearbeiten der Stirnseiten zählt:

- a) Einschalten der Antriebe für die Fräseinheiten
- b) Zustellen der Fräseinheiten
- c) 1. lineare Vorschubbewegung der Fräseinheiten
- d) 2. lineare Vorschubbewegung der Fräseinheiten
- e) Zurückfahren der Fräseinheiten
- f) Zurückfahren der beiden linearen Vorschubbewegungen in ihre Grundstellung
- g) Abschalten der Antriebe für die Fräseinheiten

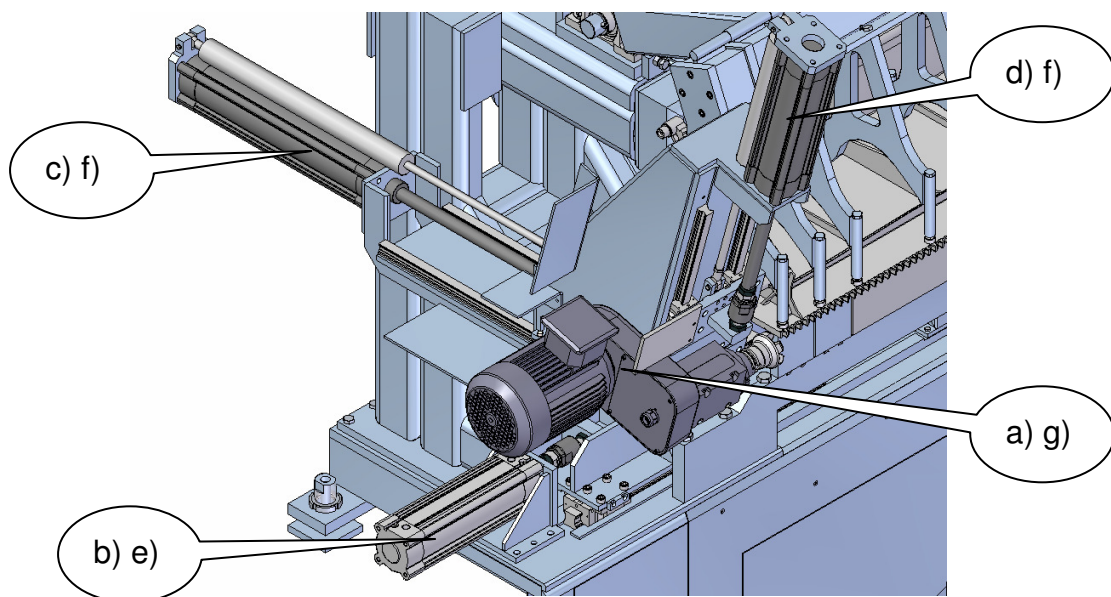


Abbildung 4-7: Ablauf Bearbeitung Stirnseiten

Hierfür werden folgende Zeiten angenommen:

Schritt	Beschreibung	Zeit in sec
a	Anlaufzeit der Suhner-Fräseinheiten BEX 15	0,5
b	Gedrosselte 10 - 210mm Hubbewegung der Festo-Normzylinder DNCB-80-230-PPV-A	2
c	Gedrosselte und gebremste 390mm Hubbewegung der Festo-Normzylinder DNCB-80-390-PPV-A	6
d	Gedrosselte und gebremste 240mm Hubbewegung der Festo-Normzylinder DNCB-80-240-PPV-A	6
e	Gedrosselte 10 - 210mm Hubbewegung der Festo-Normzylinder DNCB-80-230-PPV-A	2
f	Gedrosselte 390mm Hubbewegung der Festo-Normzylinder DNCB-80-390-PPV-A und parallel dazu die gedrosselte 240mm Hubbewegung der Festo-Normzylinder DNCB-80-240-PPV-A	2
Gesamt		18,5

Tabelle 4-4: Taktzeiten Bearbeitung Stirnseiten

Zu g):

Das Abschalten der Suhner-Fräseinheiten BEX-15 geschieht während Punkt f) und kostet keine zusätzliche Zeit

Alle Pneumatikbewegungen werden für einen ruhigen Ablauf als gedrosselt angenommen und können gegebenenfalls hinsichtlich der Zeit noch optimiert werden.

5) Entspannen des Werkstückes:

Zum Entspannen des Werkstückes zählt:

- a) Lösen des Greifers
- b) Grundstellungsfahrt des Ausrichtzylinders
- c) Ausschwenken der oberen Spannelemente

Siehe Abbildung 4-4 von Seite 62

Hierfür werden folgende Zeiten angenommen:

Schritt	Beschreibung	Zeit in sec
c	Gedrosselte 320mm Hubbewegung des Festo-Normzylinders DNC-125-320-PPV-A	5
Gesamt		5

Tabelle 4-5: Taktzeiten Entspannen

Die Schritte a) und b) passieren parallel zum Schritt c) und benötigen daher keine zusätzliche Zeit.

Anschließend kann dieses Werkstück von einem Roboter aus der Anlage entnommen werden und gleichzeitig wird bereits das nächste Teil vom anderen Roboter eingelegt.

Berechnung der Gesamttaktzeit:

- 1) Ausrichten und Spannen-----	ca. 5,5 sec
- 2) Bearbeitung der Rillen an der Vorderseite-----	ca. 30,5 sec
- 3) Bearbeitung der Rillen an der Unterseite-----	ca. 13,0 sec
- 4) Bearbeitung der Stirnseiten-----	ca. 18,5 sec
- 5) Entspannen des Werkstückes-----	ca. 5,0 sec
	<u>ca. 72,5 sec</u>

Die neue Taktzeit dieser Bearbeitungsstation wird ungefähr 72,5 Sekunden betragen. Somit wurde die Roboterzeit von ca. 82 Sekunden deutlich unterschritten, und ein zeitgleicher Ablauf der Schritte 2) und 3) ist nicht unbedingt notwendig und wird deshalb vorerst nicht in Betracht gezogen.

Abschließend zur Veranschaulichung noch eine kleine Vergleichstabelle zwischen den Ablaufzeiten der bestehenden und der neuen Station:

	Ein- bringen [sec]	Einmaliges Ausrichten und Spannen [sec]	Be- arbeitung [sec]	Ent- spannen [sec]	Aus- bringen [sec]	Gesamt- taktzeit [sec]	Roboter- zeit [sec]
Best. Station	4	3	94,5	2	3	106,5	104
Neue Station	-	5,5	62	5	-	72,5	82

Tabelle 4-6: Taktzeitvergleich

4.2 Layout:

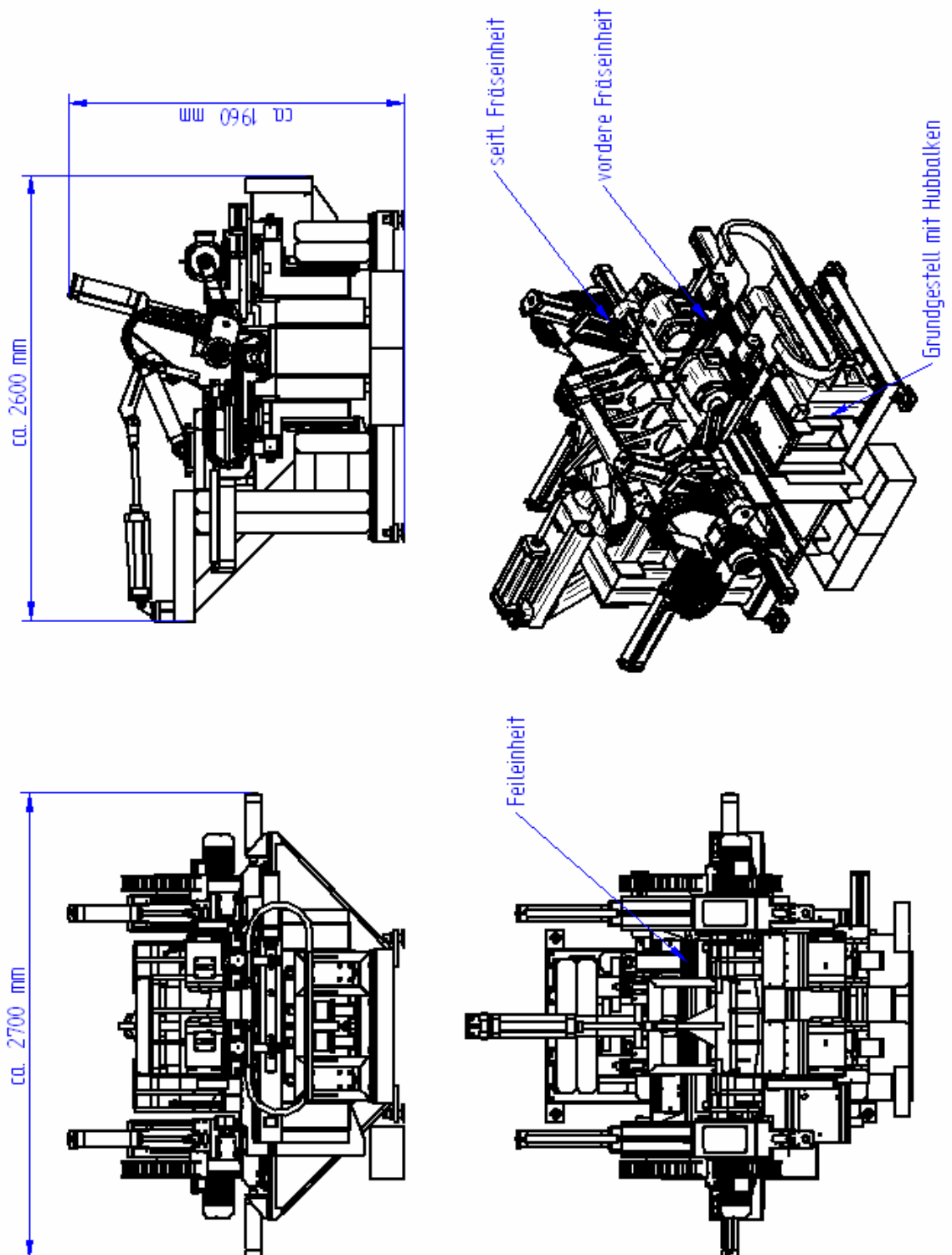


Abbildung 4-8: Gesamtlayout der Anlage

Aus den in Kapitel 2 getroffenen Überlegungen und den in Kapitel 3 beschriebenen konstruktiven Aufbau div. Details und Einheiten ergibt sich somit ein Gesamtlayout dieser Bearbeitungsstation (Abbildung 4-8). In diesem Konzept wurden alle zuvor angesprochenen Überlegungen und Vorkehrungen eingebunden und auf eine gute Zugänglichkeit aller notwendigen Komponenten (wie z.B. Tauschteile, Ersatzteile, Verschleißteile) wurde geachtet. Ebenfalls wurde durch Absprachen mit dem Kunden auch auf die räumlichen Platzverhältnisse vor Ort und die notwendigen Freiräume für das Bauteilhandling mit dem Roboter Rücksicht genommen.

Schlussendlich steht ein Konzept dieser Anlage zur Verfügung, welches alle technischen Anforderungen erfüllt und der Aufgabenstellung des Kunden entspricht.

4.3 Pneumatikplan:

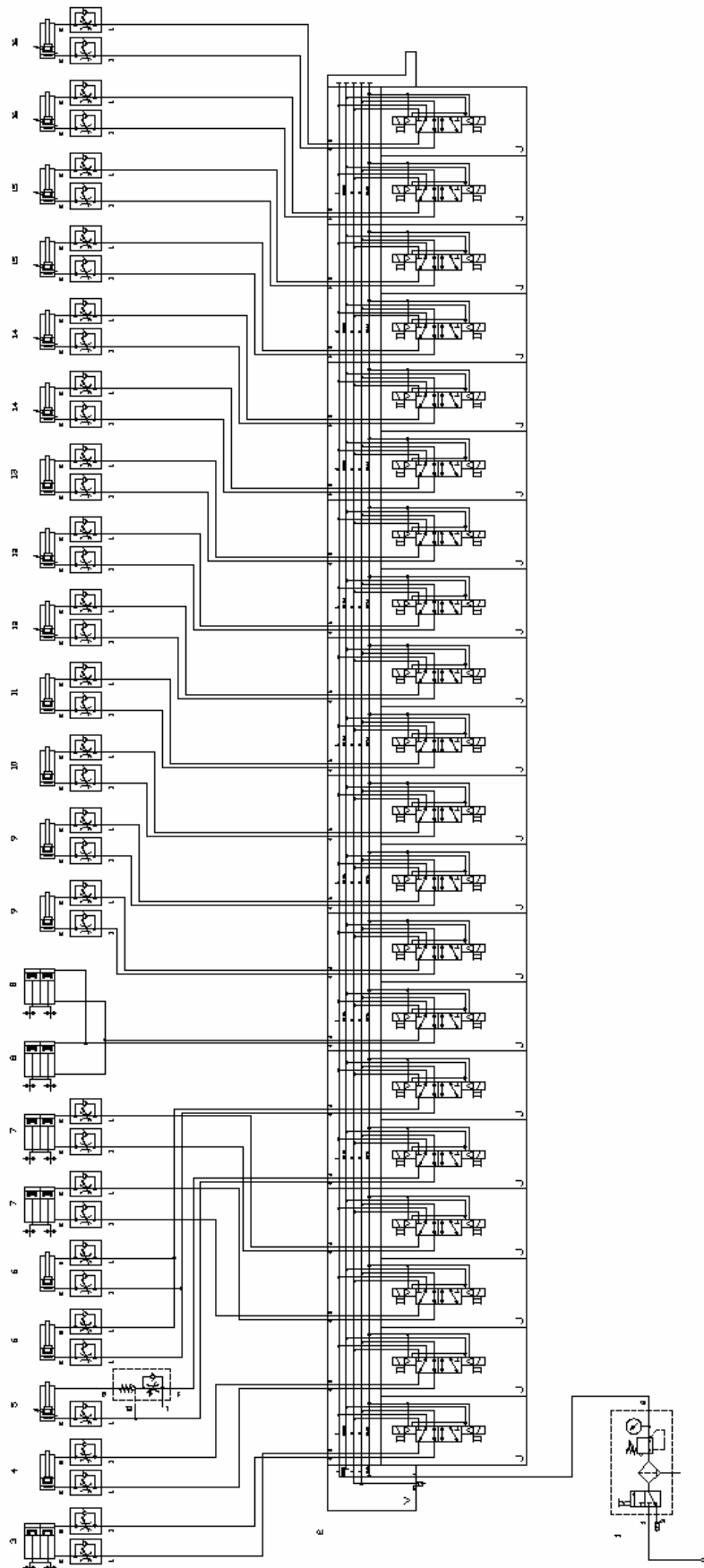


Abbildung 4-9: Pneumatikplan

In diesem Pneumatikschaltplan (Abbildung 4-9) sind in der obersten Ebene alle eingesetzten Pneumatikantriebe inkl. deren Drosselrückschlag- bzw. Rückschlagventile in einer ablauforientierten Reihenfolge aufgelistet. Die Ansteuerung dieser Antriebe erfolgt über 5/2 Wege-Impulsventile, welche zu einer gemeinsamen Ventilinsel zusammengefasst sind. Die Auslegung dieser Ventilinsel erfolgte durch Unterstützung von einem qualifizierten Festo-Fachpersonal. Die notwendige Verlegung der Druckluftschläuche zwischen den Ventilen und den Antrieben ist im Pneumatikschaltplan ersichtlich. Zur Druckluftaufbereitung wurde eine geeignete Wartungsstation mit einem Einschaltventil, einem Filter und einem Druckregler vorgesehen.

Aufgrund einfacherer Ersatzteilwirtschaft bestand die Vorgabe des Kunden darin, dass alle eingeplanten Pneumatikkomponenten von der Fa. Festo sein sollten.

Nun noch eine dem Pneumatikschaltplan (Abbildung 4-9) zugehörige Stückliste:

Stückliste der Pneumatik-Hauptkomponenten:

- 1...Wartungsgerät-Kombination LFR-1/2-D-MAXI-KC-A: Pneumatikwartungseinheit bestehend aus Einschaltventil, Filter-Regelventil und vollautomatischen Kondensatablass
- 2...Ventilinsel MPA-FB-VI: Ventilinsel Typ 32 MPA mit Feldbusknoten für Profibus DP und 20 Stk 5/2 Wege-Impulsventile
- 3...Parallelgreifer HGPT-35-A-B-F: doppeltwirkender Parallelgreifer mit Positionserkennung und beidseitiger Abluftdrosselung
- 4...Kurzhubzylinder ADVC-16-10-A-P-A: doppeltwirkender Pneumatikzylinder mit beidseitiger Endlagendämpfung, Positionserkennung und beidseitiger Abluftdrosselung
- 5...Normzylinder DNC-125-320-PPV-A: doppeltwirkender Pneumatikzylinder mit beidseitiger einstellbarer Endlagendämpfung, Positionserkennung und beidseitiger Abluftdrosselung (1. Seite mit entsperbarer Rückschlagfunktion)
- 6...Kompaktzylinder ADN-100-50-A-P-A: doppeltwirkender Pneumatikzylinder mit beidseitiger Endlagendämpfung, Positionserkennung und beidseitiger Abluftdrosselung
- 7...Parallelgreifer HGPT-35-A-B-F: doppeltwirkender Parallelgreifer mit Positionserkennung und beidseitiger Abluftdrosselung

- 8...Kompaktzylinder ADN-80-100-A-P-A: doppeltwirkender Pneumatikzylinder mit beidseitiger Endlagendämpfung, Positionserkennung und beidseitiger Abluftdrosselung
- 9...Klemmelement MKS3501A/08: doppeltwirkendes pneumatisches Klemmelement mit Federenergiespeicher
- 10...Kompaktzylinder ADN-80-270-A-P-A: doppeltwirkender Pneumatikzylinder mit beidseitiger Endlagendämpfung, Positionserkennung und beidseitiger Abluftdrosselung
- 11...Kompaktzylinder ADN-100-50-A-P-A: doppeltwirkender Pneumatikzylinder mit beidseitiger Endlagendämpfung, Positionserkennung und beidseitiger Abluftdrosselung
- 12...Normzylinder DNCB-40-30-PPV-A: doppeltwirkender Pneumatikzylinder mit beidseitiger einstellbarer Endlagendämpfung, Positionserkennung und beidseitiger Abluftdrosselung
- 13...Kompaktzylinder ADN-80-270-A-P-A: doppeltwirkender Pneumatikzylinder mit beidseitiger Endlagendämpfung, Positionserkennung und beidseitiger Abluftdrosselung
- 14...Normzylinder DNCB-80-230-PPV-A: doppeltwirkender Pneumatikzylinder mit beidseitiger einstellbarer Endlagendämpfung, Positionserkennung und beidseitiger Abluftdrosselung
- 15...Normzylinder DNCB-80-390-PPV-A: doppeltwirkender Pneumatikzylinder mit beidseitiger einstellbarer Endlagendämpfung, Positionserkennung und beidseitiger Abluftdrosselung
- 16...Normzylinder DNCB-80-240-PPV-A: doppeltwirkender Pneumatikzylinder mit beidseitiger einstellbarer Endlagendämpfung, Positionserkennung und beidseitiger Abluftdrosselung

Literaturverzeichnis

- [RM] Wittel, Herbert; Muhs, Dieter; Janasch, Dieter; Voßiek, Joachim: Roloff / Matek Maschinenelemente: Normung, Berechnung, Gestaltung: 19. Auflage
- [RM Tab] Wittel, Herbert; Muhs, Dieter; Janasch, Dieter; Voßiek, Joachim: Roloff / Matek Maschinenelemente: Tabellenbuch: 19. Auflage
- [Leute] Leute, Ulrich: Physik und ihre Anwendungen in Technik und Umwelt: 2. Auflage
- [Tabellenbuch] Fischer, Ulrich; Heinzler, Max; Näher, Friedrich; Paetzold, Heinz; Gomeringer, Roland; Kilgus, Roland; Oesterle, Stefan; Stephan, Andreas: Tabellenbuch Metall: 44. Auflage
- [Zerspanntechnik] Pauksch, Eberhard; Holsten, Sven; Linß, Marco; Tikal, Franz: Zerspanntechnik: Prozesse, Werkzeuge, Technologien: 12. Auflage

Selbstständigkeitserklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und nur unter Verwendung der angegebenen Literatur und Hilfsmittel angefertigt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht.

Diese Arbeit wurde in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner anderen Prüfungsbehörde vorgelegt.

Obdach, den 29. August 2011

Andreas Scherngell